

**UNIVERSITÄT
BAYREUTH**

Lehrstuhl für Sportwissenschaft I
Trainings- und Bewegungswissenschaft
Prof. Dr. Hohmann
Betreuer: Dr. Uli Fehr

Masterarbeit

Entwicklung und Evaluierung eines Athletiktrainingsprogramms für Nachwuchsfußballer (mid-PHV)

vorgelegt von:

Simon Schmoll
Matr.-Nr.: 141321

am 19.09.2019

Zusammenfassung

Das Ziel dieser Untersuchung war es, zu klären, ob und wie sich ein ganzheitliches Athletiktrainingsprogramm, bestehend aus Agility-, Sprint-, Plyometrie- und Balance Training, auf die physische Leistungsentwicklung von mid-PHV Nachwuchsfußballern auswirkt. Als Probanden dienten zwei C-Jugendmannschaften der DJK Don Bosco Bamberg. Die U15 als Kontrollgruppe (KG) und die U14 als Experimentalgruppe (EG). Aus beiden Mannschaften erfüllten jeweils acht Spieler alle Kriterien, um in die Analyse einbezogen zu werden. Die EG führte für 16 Wochen das Athletikprogramm durch. Das plyometrische Training (1/Woche für ca. 20 min) und das Sprint- und Agility-Training (1/Woche für ca. 25 min) wurden im Rahmen eines Komplextrainings durchgeführt, um gleichzeitig fußballerische Elemente zu schulen. Zusätzlich absolvierten die Probanden einmal wöchentlich einen Kraftzirkel für ca. 20 min im Rahmen des Mannschaftstrainings. Das Krafttraining wurde durch eine „Hausaufgabe“ (ca. 20-30 min/Woche) ergänzt, welches auch Balance-Übungen beinhaltete.

Vor und nach der sechzehnwoöchigen Trainingsphase wurden Leistungstests durchgeführt. Es wurde die Leistungsfähigkeit der Spieler im 20 m Sprint, im Squat Jump (SJ), im Counter Movement Jump (CMJ), im Drop Jump (DJ) sowie die isometrische Maximalkraftleistung an der Beinpresse gemessen. Zudem wurde die unilaterale Gleichgewichtsfähigkeit auf dem Posturomed erfasst.

Für die Analyse der Leistungsentwicklung innerhalb einer Gruppe wurde ein gepaarter T-Test durchgeführt. Für den Vergleich der Leistungsentwicklung zwischen den Gruppen wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Faktoren Gruppe und Zeit durchgeführt. Ob ein Unterschied in der Leistungsfähigkeit zwischen den beiden Gruppen zum Zeitpunkt des Eingangstests bestand, wurde mit einem T-Test für unabhängige Stichproben geprüft. Zur Ermittlung von Zusammenhängen wurde die Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson berechnet. Das Signifikanzniveau wurde für alle statischen Verfahren auf $p < 0,05$ festgelegt.

Im Schnitt verbesserte die EG ihre Leistungen im 20 m Sprint hochsignifikant um $4,2 \pm 1,3 \%$ ($p < 0,001$; $d = 3,62$), während die Sprintleistungen der KG im Durchschnitt nahezu unverändert blieb ($-0,1 \pm 3,9 \%$). Der Vergleich zwischen den Gruppen zeigt, dass sich die EG signifikant deutlicher steigerte, als die KG ($\eta^2 = 0,4$). Basierend auf den Effektstärken, kann der Trainingseffekt auf die Sprintfähigkeit als groß eingestuft werden. Bei der Gleichgewichtsfähigkeit konnte in keiner Gruppe eine signifikante Leistungsentwicklung festgestellt werden. Auch gab es keinen Unterschied zwischen den Gruppen. In der Sprungdiagnostik konnte nur beim DJ ein signifikanter Gruppenunterschied in der Leistungsentwicklung festgestellt werden (EG: $11,6 \pm 19,8 \%$ vs. KG: $-4,6 \pm 8,0 \%$). Die Analyse der Leistungsentwicklung des DJ innerhalb der Gruppen ergab hingegen für keine Gruppe ein signifikantes Ergebnis. Im SJ und im CMJ verbesserten sich beide Gruppen (EG bzw. KG) signifikant um $17,6 \pm 8,2 \%$ bzw. $14,5 \pm 5,9 \%$ und $7,7 \pm 8,7 \%$ bzw. $6,7 \pm 6,6 \%$. Die EG steigerte ihre Maximalkraftleistungen in der Beinpresse signifikant um $38,6 \pm 13,5 \%$, während die KG

lediglich Verbesserungen von $14,3 \pm 21,9$ % erzielte. Beim direkten Vergleich der Leistungsveränderungen wurde das Signifikanzniveau knapp verfehlt ($p = 0,066$). Die Daten zeigen, dass das Athletiktrainingsprogramm in dieser Arbeit, die physische Leistungsfähigkeit von Nachwuchsfußballern im mid-PHV Alter verbessert. Dies gilt besonders für die Schnelligkeit. Dadurch erreichen die Nachwuchsfußballer einen Leistungsvorteil gegenüber der KG, da sie ihre individuellen, physischen Leistungspotenziale besser ausschöpfen. Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass das Trainingsvolumen beim Plyo-, Kraft- und Balance-Training gesteigert werden muss, um weitere Trainingseffekte zu erzielen. Eine Periodisierung mit abwechselnden Trainingsschwerpunkten (z.B. Phase Kraft, Phase Plyometrie, Phase Balance) und einem erhaltenden Training der übrigen Fähigkeiten, ist deshalb zu empfehlen.

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG.....	I
INHALTSVERZEICHNIS	III
ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	V
TABELLENVERZEICHNIS.....	VII
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	VIII
1 EINLEITUNG.....	1
2 GRUNDLAGEN ZUM ATHLETIKTRAINING IM FUßBALL.....	2
2.1 ATHLETIK IM FUßBALL.....	2
2.2 DEFINITORISCHE GRUNDLAGEN ZU DEN ATHLETISCHEN FÄHIGKEITEN IM FUßBALL.....	3
2.3 TRAININGSMETHODEN IM FUßBALLERISCHEN ATHLETIKTRAINING	8
2.4 BESONDERHEITEN BEIM ATHLETIKTRAINING IM NACHWUCHSBEREICH.....	11
3 FORSCHUNGSSTAND ZUM ATHLETIKTRAINING IM MID-PHV ALTER	18
3.1 SCHNELLIGKEITSTRaining IM MID-PHV ALTER.....	18
3.2 AGILITY-TRAINING IM MID-PHV ALTER.....	21
3.3 KRAFTTRAINING IM MID-PHV ALTER.....	24
3.4 PLYOMETRISCHES TRAINING IM MID-PHV ALTER	29
3.5 BALANCE TRAINING IM MID-PHV ALTER.....	33
3.6 KOMBINIERTE TRAININGSPROGRAMME IM MID-PHV ALTER	34
3.7 PROBLEMFORMULIERUNG UND HYPOTHESEN.....	38
4 METHODIK	40
4.1 UNTERSUCHUNGSDESIGN.....	40
4.2 PERSONENSTICHPROBE	40
4.3 TRAININGSPROGRAMM	41
4.4 UNTERSUCHUNGSVERFAHREN	50
4.5 STATISTISCHE DATENVERARBEITUNG	56
5 ERGEBNISSE.....	59
5.1 ÜBERBLICK ZUR LEISTUNGSENTWICKLUNG	59
5.2 TESTUNG BALANCE.....	60
5.3 TESTUNG SPRUNG	62
5.4 TESTUNG SCHNELLIGKEIT	67
5.5 TESTUNG MAXIMALKRAFT.....	71
5.6 KORRELATIONEN.....	73
6 DISKUSSION	76
6.1 METHODENDISKUSSION	76
6.2 ERGEBNISDISKUSSION.....	79
7 FAZIT UND AUSBLICK.....	86

8	LITERATURVERZEICHNIS.....	87
	EHRENWÖRTLICHE VERSICHERUNG.....	94

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Kraft-Zeit-Verlaufskurve (nach Grosser & Renner, 2007)	4
Abb. 2: Allgemeine Fähigkeitsstruktur der Schnelligkeit (nach Hohmann et al., 2014)	6
Abb. 3: Pyramide zur Entwicklung der Agility (nach Jeffreys, 2014).....	9
Abb. 4: Kategorisierung von Sprüngen (Wenzel, 2017).....	10
Abb. 5: Wachstumsgeschwindigkeitskurve bei Jungen (nach Statton & Oliver, 2014).....	12
Abb. 6: Langfristiger Leistungsaufbau nach dem YPD-Modell für Jungen (Lloyd & Oliver, 2012).....	15
Abb. 7: Fußballspezifische Agility-Übungen nach Chaalali et al. (2016)	22
Abb. 8: Beispiel für das Sprint- und Agility-Training in den Wochen 1-4	43
Abb. 9: Beispiel für das Sprint- und Agility-Training in den Wochen 5-8	43
Abb. 10: Beispiel für das Sprint- und Agility-Training in den Wochen 9-12	44
Abb. 11: Partner-Widerstandssprint mit Gummiband (Woche 13-16).....	45
Abb. 12: Beispiel für das plyometrische Training in den Wochen 1-5.....	46
Abb. 13: Kraftzirkel in den Phasen 1 und 2.....	47
Abb. 14: Schnellkräftige Kniebeuge mit Slam Ball-Wurf (Phase 3)	48
Abb. 15: Hausaufgabe in den Wochen 1-6.....	49
Abb. 16: Balance-Übungen der Hausaufgabe in den Wochen 7-16	49
Abb. 17: Messung der Körperhöhe im Stand und sitzend (Universität Potsdam, o. J.)	50
Abb. 18: Auswertungsschema des PKT (Otte, 2014)	52
Abb. 19: Durchführung des PKT (Otte, o. J.)	53
Abb. 20: Test Schnelligkeit (DFB, o. J.-b).....	55
Abb. 21: Beinpresse mit Kraftmessplatte.....	55
Abb. 22: Durchschnittlich erreichte Punktzahl (0-1000) beim PKT	60
Abb. 23: Durchschnittliche, absolute Entwicklung beim PKT.....	61
Abb. 24: Ergebnisse des SJ.....	63
Abb. 25: Durchschnittliche, absolute Veränderung beim SJ.....	63
Abb. 26: Ergebnisse des CMJ	64
Abb. 27: Durchschnittliche, absolute Veränderung beim CMJ.....	64
Abb. 28: Ergebnisse des DJ (LI)	65
Abb. 29: Durchschnittliche, absolute Veränderung beim DJ (LI)	65
Abb. 30: Ergebnisse der DJ-Sprunghöhe	66
Abb. 31: Durchschnittliche, absolute Veränderung der DJ-Sprunghöhe	66
Abb. 32: Ergebnisse der DJ-Bodenkontaktzeit	67
Abb. 33: Durchschnittliche, absolute Veränderung der DJ-Bodenkontaktzeiten	67
Abb. 34: Ergebnisse der 20 m Zeit	68
Abb. 35: Durchschnittliche, absolute Veränderung der 20 m Sprintzeit.....	69
Abb. 36: Ergebnisse der 0-10 m Zeit	69
Abb. 37: Durchschnittliche, absolute Veränderung der 0-10 m Sprintzeit	70
Abb. 38: Ergebnisse der 10-20 m Zeit	70
Abb. 39: Durchschnittliche, absolute Veränderung der 10-20 m Sprintzeit	71
Abb. 40: Ergebnisse der isometrischen Maximalkraftleistung	72
Abb. 41: Durchschnittliche, absolute Veränderung der isometrischen Maximalkraftleistung.....	72
Abb. 42: Streudiagramm der Maximalkraft und der DJ-BKZ (C2).....	74

Abb. 43: Streudiagramm der Maximalkraft und des SJ (C2)	74
Abb. 45: Streudiagramm der 0-10 m Sprintzeit und des CMJ (C1)	75
Abb. 46: Streudiagramm der 20 m Sprintzeit und des DJ (C1).....	75
Abb. 47: Streudiagramm der 20 m Sprintzeit und der DJ-BKZ (C2)	75
Abb. 48: Interview mit dem C1-Trainer zu den athletischen Trainingsinhalten.....	76
Abb. 49: Einzelanalyse der Entwicklung der SH, der BKZ und des LI in der EG.....	82
Abb. 50: Einzelanalyse der Entwicklung der 20 m Zeit (s) in der KG	83
Abb. 51: Einzelanalyse der Entwicklung der 20 m Zeit (s) in der EG	83

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Einteilung der Krafttrainingsmethoden nach Güllich und Schmidtbleicher (1999).....	11
Tab. 2: Pre-Post Interventionsstudien zum Sprinttraining im mid-PHV Alter.....	20
Tab. 3: Pre-Post Interventionsstudien zum Agility-Training im mid-PHV Alter.....	23
Tab. 4: Pre-Post Interventionsstudien zum Krafttraining im mid-PHV Alter.....	27
Tab. 5: Periodisierung des Krafttrainings im mid-PHV Alter.....	28
Tab. 6: Pre-Post Interventionsstudien zum Plyo-Training im mid-PHV Alter.....	31
Tab. 7: Pre-Post Interventionsstudien zum Kombi-Training im mid-PHV Alter.....	36
Tab. 8: Daten zu den Probanden und deren Entwicklung zwischen den Eingangs- und Ausgangstest.....	40
Tab. 9: Wochenplan.....	42
Tab. 10: Überblick zur Leistungsentwicklung.....	59
Tab. 11: Deskriptive Statistik zum PKT.....	60
Tab. 12: Deskriptive Statistik zur Sprungdiagnostik.....	62
Tab. 13: Deskriptive Statistik zum Sprinttest.....	68
Tab. 14: Deskriptive Statistik zum Test der isometrischen Maximalkraftleistung.....	71
Tab. 15: Korrelationskoeffizienten-Matrix der C1 und C2.....	73

Abkürzungsverzeichnis

a	Beschleunigung
Abb.	Abbildung
AT	Ausgangstest
ATP	Adenosintriphosphat
BFV	Bayerischer Fußball Verbnd
BKZ	Bodenkontaktzeit
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CI	Konfidenzintervall
cm	Zentimeter
CMJ	Counter Movement Jump
COP	Center of Pressure
d	Effektstärke (Cohen)
d.h.	das heißt
df	degrees of freedom
DFB	Deutscher Fußball Bund
DJ	Drop Jump
DVZ	Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus
EG	Experimentalgruppe
ES	Effektstärke
ET	Eingangstest
et al.	et alii (und andere)
F	Kraft
<i>F</i>	Empirischer F-Wert
FMS	Grundlegende Bewegungsfertigkeiten
Hz	Herz
IAT	Institut für angewandte Trainingswissenschaften
IK	Intramuskuläre Koordination
KG	Kontrollgruppe
kg	Kilogramm
LI	Leistungsindex
ln	Logarithmus zur Basis e
LTAD	Long-Term Athlete Development Model
m	Meter
min	Minute
mind.	mindestens
ms	Millisekunde
N	Newton
n	Stichprobengröße
NLZ	Nachwuchsleistungszentrum
o. J.-a.	ohne Jahresangabe
p	Wahrscheinlichkeit

PHV	peak height velocity
PKT	Posturokybernetiktest
Plyo	Plyometrie
PWV	peak weight velocity
r	Korrelationskoeffizient
r^2	Varianzaufklärung
RM	Ein-Wiederholungs-Maximums
RS	Repeated Sprint Training
s	Sekunde
S.	Seite
SD	Standardabweichung
SH	Sprunghöhe
SJ	Squat Jump
SSG	small sided games
t	Zeit
t	empirischer T-Wert
Tab.	Tabelle
u.a.	unter anderem
usw.	und so weiter
v	Geschwindigkeit
Var	Varianz
Vgl.	Vergleiche
VO2max	Maximale Sauerstoffaufnahme
vs.	versus
Wdh	Wiederholung
YPD	Youth Physical Development
z	Standardnormierter z-Wert
Z	Fisher Z-Wert
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil
ZNS	Zentrales Nervensystem
η^2	Eta-Quadrat (Effektstärke)
λ	Lambda

1 Einleitung

Im Fußball entscheiden viele Faktoren über Sieg und Niederlage. Die Taktik, die technischen Fähigkeiten der Spieler, die Psyche und vieles mehr - jeder Fußballtrainer kann auf Anhieb eine Vielzahl von Faktoren benennen, die Einfluss auf den Ausgang eines Spiels haben. Ein wichtiger Erfolgsfaktor dabei ist die Athletik. Im Rahmen von fußballerischen Übungs-, Spiel- und Trainingsformen erfolgen jedoch wesentliche Trainingsreize zum Aufbau bestimmter athletischer Fähigkeiten zu unsystematisch, zu schwach oder fehlen ganz. Dies kann zu einseitigen Belastungen, Leistungseinbußen oder gar Verletzungen führen (Steinhöfer, 2015). Beim Athletiktraining geht es darum, die konditionellen und koordinativen Fähigkeiten zielgerichteter zu trainieren als dies durch ein reines Fußballtraining möglich ist.

Von führenden Experten im Bereich Kinder- und Nachwuchstraining wird empfohlen, dass Nachwuchssportler aller Altersklassen zur Leistungssteigerung und zur Prävention vor Verletzungen, neben dem sportartspezifischen Training, ein Athletiktraining durchführen sollten (Faigenbaum, Lloyd, MacDonald & Myer, 2016; Granacher et al., 2016; Lloyd & Oliver, 2012). Ein Athletiktraining mit Fokus auf Kraftübungen senkt das Verletzungsrisiko bei Nachwuchssportlern erheblich (Faigenbaum & Myer 2010). Die National Trainers' Association vermutet, dass ca. 50 % aller Überbelastungsverletzungen im Nachwuchssport durch ein adäquates Training verhindert werden könnten (Valovich McLeod et al., 2011).

Aus Leistungssicht sollte der Trainingsfokus im langfristigen athletischen Leistungsaufbau von Nachwuchsfußballern auf die Schnelligkeit, die Agilität und die Kraft gelegt werden (Granacher et al., 2016; Lloyd & Oliver, 2012). Dabei gilt zu beachten, dass beim Athletiktraining mit Kindern- und Jugendlichen nicht einfach die Trainingsprotokolle von Erwachsenen übernommen werden können. Denn die Trainierbarkeit von Nachwuchssportlern scheint von einer Vielzahl biologischer Prozesse abzuhängen, die sich im Laufe der Entwicklung verändern (Virus et al., 1999). Es besteht jedoch Unklarheit darüber, welche Variablen (u.a. Trainingsmethode, Wiederholungs- und Satzzahl, Intensität, Frequenz) die Wirksamkeit des Trainings im Nachwuchsbe- reich maßgeblich bestimmen (Peitz, Behringer & Granacher, 2018). Als allgemein anerkannt gilt, dass der kombinierte Einsatz von verschiedenen Trainingsmethoden den größten Trainingserfolg verspricht (Chu & Myer, 2013; Faigenbaum et al., 2016; Granacher et al., 2016; Lloyd & Oliver, 2012).

Für die Sportpraxis ist es wichtig, auf Trainingsprogramme zurückgreifen zu können, welche auf dessen Wirksamkeit überprüft wurden. Ein Schwerpunkt in der sportwissenschaftlichen Forschung zum Thema Nachwuchsathletiktraining liegt deshalb in der Entwicklung und Evaluation praxisrelevanter, sportartspezifischer Athletiktrainingsprogramme für verschiedene Altersklassen (vgl. „Projektziele KINGS-Studie“, 2014). In dieser Arbeit wird ein Athletiktrainingsprogramm entwickelt und empirisch evaluiert, dessen Ziel ist, die schnellkräftigen Leistungen von pubertären (mid-PHV) Nachwuchsfußballer zu verbessern.

2 Grundlagen zum Athletiktraining im Fußball

2.1 *Athletik im Fußball*

Der Begriff „Athletik“ stammt vom griechischen Wort „*athlētēs*“ und bedeutet übersetzt „Wettkämpfer“. Ein Athletiktraining umfasst das Training der motorischen (Ausdauer, Kraft, Schnelligkeit, Beweglichkeit) und koordinativen Fähigkeiten, mit dem Ziel, die Leistungsfähigkeit in einer speziellen Sportart zu verbessern. Die Ziele im Athletiktraining sollten aus dem Belastungsprofil, der Struktur der sportartspezifischen Leistungsfähigkeit sowie dem geschlechts-, alters- oder niveauspezifischen Anforderungsprofil abgeleitet werden (Hohmann, Lames & Letzelter, 2014).

Der Fußball ist geprägt durch ein intermittierendes Belastungsmuster - einem ständigen Wechsel aus niedrig-, mittel- und hochintensiven Phasen. Im professionellen Fußball beträgt die durchschnittliche Laufdistanz in einem Spiel 8-12 Kilometer. Die Spieler bewegen sich dabei zu ca. 90% im niedrig intensiven Bereich ($\leq 14,4 \text{ km} * \text{h}^{-1}$), zu 7% im mittleren Intensitätsbereich ($14,5 \text{ bis } 19,7 \text{ km} * \text{h}^{-1}$) und zu 3% im hochintensiven Bereich ($\geq 19,8 \text{ km} * \text{h}^{-1}$), wobei nur in 0,6% der Zeit Sprints ausgeführt werden ($\geq 25,2 \text{ km} * \text{h}^{-1}$). In dieser kurzen Zeit werden durchschnittlich 17-36 Sprints absolviert, wobei die Sprintdistanzen meist zwischen 4 und 30 m liegen. Die mittlere Regenerationszeit zwischen hochintensiven Belastungen liegt in etwa bei 70 Sekunden (Bradley, Di Mascio, Peart, Olsen & Sheldon, 2010; Di Salvo et al., 2007; Vigne, Gaudino, Rogowski, Alloatti & Hautier, 2010).

Osgnach und Kollegen weisen darauf hin, dass die Belastungsstruktur im Fußball durch kurze Beschleunigungen, Sprünge, Abstoppbewegungen und Richtungswechsel geprägt ist (Osgnach, Poser, Bernardini, Rinaldo & Di Prampero, 2010). Gemäß ihren Analysen anhand eines Beschleunigungsprofils, liegt der Anteil an hochexplosiven Bewegungen im Profifußball zwei- bis dreimal höher als in den vorhergehend genannten Studien sowie die Regenerationszeiten entsprechend kürzer. Es wird ersichtlich, dass das athletische Anforderungsprofil eines Fußballers sehr vielfältig ist. Anders als in vielen Individualsportarten, in denen einzelne motorische Fähigkeiten klar dominieren, sollten Fußballer idealtypisch athletische Alleskönner sein und hohe Leistungsfähigkeiten in den Bereichen Ausdauer, Kraft, Schnelligkeit, Agilität und Koordination vereinen. Die wichtigste athletische Komponente im Fußball stellt laut einer Befragung von nationalen und internationalen Experten (u.a. Arsène Wenger, Matthias Sammer, Ralf Rangnick) die fußballspezifische Schnelligkeit dar (Rehhagel, 2011). In vielen spielentscheidenden Situationen ist die Schnelligkeit ein wesentlicher Aspekt, um die Situation erfolgreich zu lösen. Pep Guardiola, Trainer von Manchester City, sagte vor kurzen über den deutschen Nationalspieler Leroy Sane: „He has a special quality to do something unique around the world, with his speed (...)“ (Guardiola, 2019). Diese Aussage unterstreicht, dass die Schnelligkeit selbst auf Weltklasseniveau einen großen Leistungsunterschied ausmachen kann. Zweifels- ohne müssen im modernen Profifußball auch alle Spieler über eine gute Ausdauer verfügen, um den taktischen Spielanforderungen gerecht werden zu können. Die Erkenntnis, dass sich die Ausdauerleistungsfähigkeit zwischen Spielern der ersten und

zweiten Bundesliga nicht unterscheiden, legt jedoch die Vermutung nahe, dass der Ausdauerfähigkeit keine wichtige Bedeutung für den Spielerfolg einer Mannschaft zukommt (Dickhuth, Simon, Bachl, Lehmann & Keul, 1981). Auf hohem Niveau kann die Ausdauer folglich als Leistungsvoraussetzung angesehen werden, hingegen weniger als Fähigkeit, um einen Leistungsvorteil zu schaffen.

2.2 Definitiorische Grundlagen zu den athletischen Fähigkeiten im Fußball

Ausdauer im Fußball

Bei sportlichen Belastungen können verschiedene Formen einer Ermüdung auftreten, z.B. physische (Muskelfunktion), mentale (Konzentration) oder sensorische (Sinneswahrnehmung) (Steinhöfer, 2015). Die Ausdauer wird im allgemeinen als Ermüdungswiderstandsfähigkeit definiert, um eine sportliche Belastung möglichst lange aufrechterhalten zu können und/oder sich nach intensiven Belastungen möglichst schnell wieder zu erholen (Hohmann et al., 2014). Zweiteres ist im Fußball wegen des intermittierenden Belastungsprofils besonders wichtig. In den spielentscheidenden Situationen werden primär schnellkräftig Bewegungen ausgeführt, wie z.B. der kurze Antritt im Dribbling, der Richtungswechsel nach einem Ballverlust oder der Sprung zum Kopfball. Diese Aktionen erfolgen aufgrund ihrer kurzen Dauer primär anaerob-alaktazid durch den Abbau der energiereichen Phosphate (ATP- und Kreatinphosphatabbau), d.h. ohne hohe Laktatanstiege (Hollmann et al., 1982). Teilweise kommt es aufgrund längerer intensiver Belastungsphasen auch zu Aktionen im anaeroben-laktaziden Bereich (z.B. Sprint über das ganze Feld nach Ballverlust mit anschließendem Defensiv-Zweikampf). Da die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit für die Geschwindigkeit der Regenerationsprozesse (Wiederauffüllung der energiereichen Phosphate und Laktatabbau) zwischen intensiven Belastungen hauptverantwortlich ist (Grosser & Renner, 2007), stellt sie für den Fußballer die wichtigste Komponente der Ausdauer dar.

Kraft im Fußball

Jede Bewegung des Menschen erfordert Kraft. Das Phänomen Kraft kann aus verschiedenen Betrachtungsweisen definiert werden. Im biologischen Sinne ist Kraft die Fähigkeit des Nerv-Muskel-Systems, durch die Arbeit der Muskulatur (= Innervations- und Stoffwechselprozesse mit Muskelkontraktionen) Widerstände zu überwinden (konzentrische Kontraktion), ihnen entgegenzuwirken (exzentrische Kontraktion) oder sie zu halten (isometrische Kontraktion) (Ehlenz, Grosser & Zimmermann, 2003). Aus physikalischer Perspektive ist Kraft das Produkt aus Masse und Beschleunigung ($F = m \cdot a$). Schließlich werden aus sportmethodischer Sicht verschiedene Erscheinungsformen der Kraft unterschieden, typischerweise die Maximalkraft, Schnellkraft, Reaktivkraft und Kraftausdauer.

Die Maximalkraft stellt die höchstmögliche Kraft dar, die das neuromuskuläre System bei einer maximalen willkürlichen Kontraktion ausüben kann. Am höchsten liegen die Kraftwerte bei einer exzentrischen Kontraktion, gefolgt von einer isometrischen und am niedrigsten bei einer konzentrischen Muskelanspannung. Als Absolutkraft wird

das gesamt vorhandene Potenzial der Muskelkraft verstanden, d.h. der Maximalkraft plus dem Kraftdefizit. Das Kraftdefizit ist nicht willkürlich aktivierbar, allenfalls unter extremen Bedingungen (z.B. Todesangst). Bei einer maximalen exzentrischen Kontraktion nähern sich die Kraftwerte am ehesten an die Absolutkraft an (Steinhöfer, 2015). Die leistungsbestimmenden Komponenten der Maximalkraft sind die Muskelquantität (Faserquerschnitt, -zusammensetzung und -anzahl), die intramuskuläre Koordination (Rekrutierung, Frequenzierung und Synchronisation) sowie qualitative-strukturelle (Faser- und Filamentendichte) und biomechanische (Muskellänge, Hebel, Faserzugwinkel) Bedingungen (Grosser & Renner, 2007).

Neben dem Maximalkraft-„Peak“ lässt sich auf der Kraft-Zeit-Verlaufskurve (Abb. 1) auch das Kraftanstiegsverhalten erkennen, welches als „Schnellkraft“ bezeichnet wird.¹ Die Schnellkraft wird als Fähigkeit des Nerv-Muskel-Systems verstanden, in der zur Verfügung stehenden Zeit einen möglichst großen Kraftstoß ($F \cdot t$) zu erzeugen. Da die Wirkungsdauer der Kraft bei schnellen Bewegungen (z.B. Sprüngen, Antritten, Einwüfen) sehr begrenzt ist, stellt die Schnellkraft im Fußball die wichtigste Erscheinungsform der Kraft dar. Denn durch einen maximalen Kraftstoß wird auch die Geschwindigkeit der zu beschleunigenden Masse maximiert ($F \cdot t = m \cdot \Delta v$). Über eine Erhöhung der Schnellkraft können somit die Sprung- und Sprintfähigkeiten eines Sportlers verbessert werden.

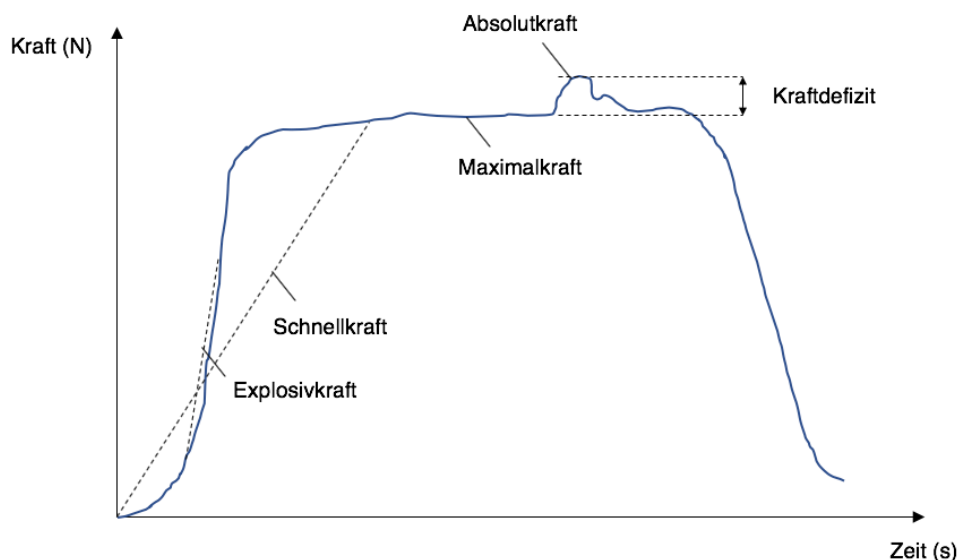


Abb. 1: Kraft-Zeit-Verlaufskurve einer Maximal- und Schnellkraftmessung (nach Grosser & Renner, 2007)

Bei vielen Sportbewegungen wird die Zielbewegung durch eine Ausholbewegung eingeleitet. Hier kommt es zu einem schnellen Wechsel zwischen exzentrischer und konzentrischer Arbeitsweise der Muskulatur (Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus; DVZ).

¹ Die Explosivkraft ist eine Komponente der Schnellkraft und wird durch die Sekantensteigung zwischen den Punkten ermittelt, an den 1/6 bzw. die Hälfte des Maximalwertes erreicht wurden.

In einem DVZ wird die entwickelbare Kraft nicht alleine durch die Schnellkraft, sondern auch durch die Elastizität der Sehnen, Bänder und Muskeln und der Vorinnervierung der Muskelfasern im Sinne einer „Anfangskraft“ mitbestimmt (Hohmann et al., 2014). Diese Fähigkeit, die exzentrische Phase zur Verstärkung der Zielbewegung zu nutzen, nennt man Reaktivkraft. Man unterscheidet dabei zwischen einem langen (Stützzeit > 200 ms) und einem kurzen DVZ (< 200 ms). Bei Kopfbällen, Antritten und Richtungswechseln befindet sich ein Fußballer meist im langen DVZ, während bei höheren Laufgeschwindigkeiten die Bodenkontaktzeiten unter 200 ms (kurzer DVZ) liegen (Geese & Hillebrecht, 2006).

Bei der Kraftausdauer handelt es sich um eine Ermüdungswiderstandsfähigkeit gegen sich wiederholende Krafteinsätze. Sie ist eine kombinierte Erscheinung aus der Ausdauer und der Kraft, weshalb eine Abgrenzung nicht ganz einfach ist. Ehlenz et al. (2003) unterscheiden nach dem Kriterium „Größe des Krafteinsatzes“ wie folgt:

- Maximalkraftausdauer bei Krafteinsätzen über 75 % der Maximalkraft.
- Submaximale Kraftausdauer bei Krafteinsätzen von 50-75% der Maximalkraft.
- Aerobe Kraftausdauer: Bei Krafteinsätzen von 30-50% der Maximalkraft.

Je geringer die Krafteinsätze, desto mehr überwiegen die Stoffwechselvorgänge (aerobe Ausdauer). Wie bereits oben unter „Ausdauer im Fußball“ erläutert, ist die aerobe Ausdauer im Fußball von wichtiger Bedeutung, während die Fähigkeit einen bestimmten Kraftaufwand über längere Zeit aufrecht erhalten zu können, eher selten gefordert ist.

Schnelligkeit im Fußball

Die Schnelligkeit ist eine ausgesprochen komplexe Fähigkeit, die nicht eindeutig den konditionellen oder koordinativen Fähigkeiten zugeordnet werden kann, da sie sowohl auf energetischen als auch auf zentralnervösen Steuerungsmechanismen basiert. Wie die Ausführungen oben unter „Kraft im Fußball“ gezeigt haben, sind Schnelligkeit und Kraft keine voneinander vollständig abgrenzbaren Fähigkeiten. Somit kann die Schnelligkeit nicht als komplett eigenständige motorische Fähigkeit eingeordnet werden. Allerdings spielen neben der (Schnell-)Kraft auch andere Komponenten für die Schnelligkeit eine leistungsbestimmte Rolle. In der Literatur unterteilt man in elementare und eine komplexe Schnelligkeit (Grosser & Renner, 2007; Hohmann et al., 2014; Steinhöfer, 2015).

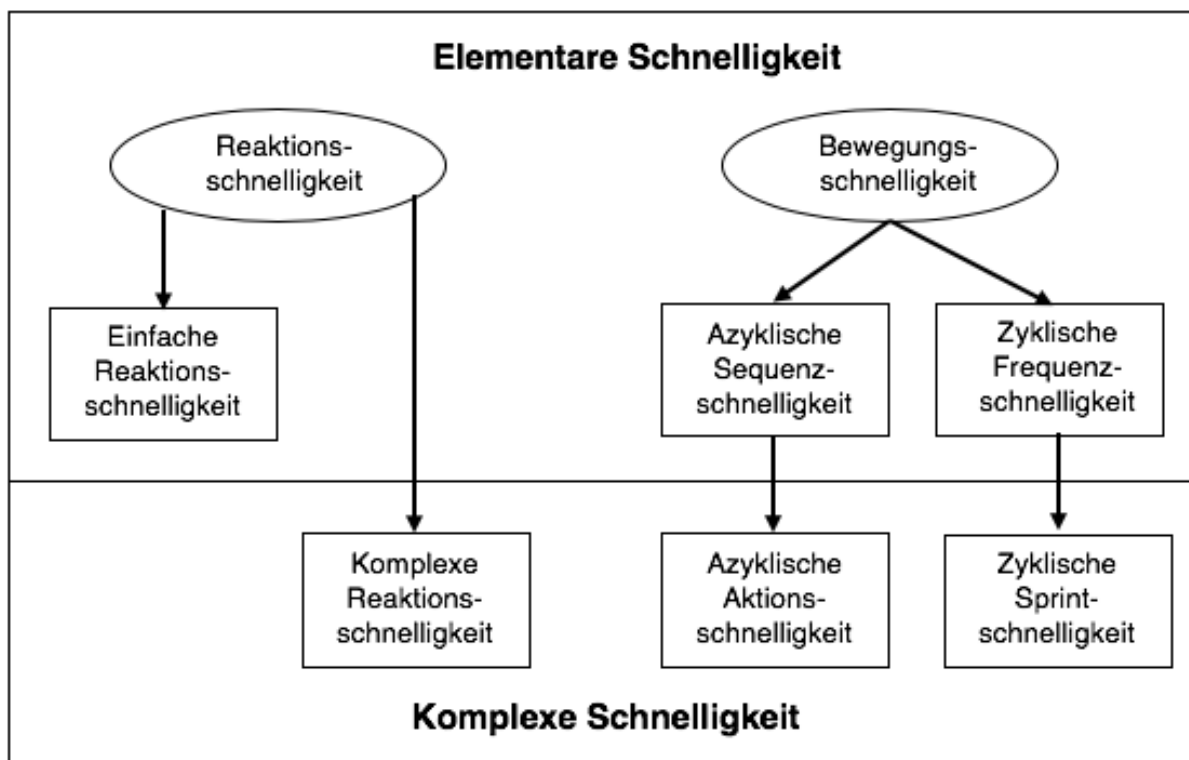


Abb. 2: Allgemeine Fähigkeitsstruktur der Schnelligkeit (nach Hohmann et al., 2014)

Zunächst kann zwischen Reaktions- und Bewegungsschnelligkeit unterschieden werden, die weitgehend unabhängig voneinander sind (Steinhöfer, 2015). Bei einfachen Reaktionen, im Sinne der elementaren Schnelligkeit, reagiert man auf bestimmte Signale mit vorgeplanten Bewegungsausführungen. Diese Reaktionsform ist im Fußball praktisch nicht von Bedeutung. Sehr wichtig ist im Fußball hingegen die komplexe Reaktionsfähigkeit (Handlungsschnelligkeit), welche nicht konditionell und koordinativ, sondern kognitiv- und perzeptiv-taktisch determiniert ist (Hohmann et al., 2014). Im Fußball sind insbesondere folgende Komponenten der komplexen Reaktionsschnelligkeit von Bedeutung (Steinhöfer, 2015):

- Wahrnehmung: Bei einer guten Wahrnehmung kann ein Spieler aus einer großen Informationsmenge die handlungsrelevanten Signale herausfiltern und daraus die beste Entscheidung für eine Folgehandlung treffen.
- Antizipation: Durch eine gute Antizipation kann ein Spieler mögliche Geschehen gedanklich vorhersehen.
- Automatisierung: Bei einer guten Automatisierung sind Bewegungsabläufe so fest verankert, dass sie in jeder Situation quasi automatisch ablaufen.

Die Abgrenzung der elementaren von der komplexen Bewegungsschnelligkeit basiert auf der Überlegung, dass maximal schnelle Bewegungen nur ohne (nennenswerten) äußeren Widerstand möglich sind. Bei solchen Bewegungen sind insbesondere die motorischen Steuerungs- und Funktionsprozesse entscheidend: (Grosser & Renner, 2007):

- Zentrales Nervensystem (ZNS): Hohe Frequenzierung und Rekrutierung der Muskelfasern, Erregungs- und Hemmungswechsel, hohe Reizleitungsgeschwindigkeiten;
- Reaktivkraft: Optimalen Vorinnervierung im kurzen DVZ, „Stiffness“ des kollagenen Gewebes;
- Muskelfaserverteilung: Hoher genetischen Anteil an schnellzuckenden Muskelfasern;
- Bewegungsprogramme und Technik: Schnelle Bewegungen basieren auf einer vollendeten Bewegungsprogrammierung (Simkin, 1960). Das ZNS wirkt insofern limitierend auf die Schnelligkeitsleistung, da bei Bewegungen unter 200 ms eine Korrektur der Bewegung durch externe Rückmeldungen nicht mehr möglich ist (open loop-Bewegung). Folglich hängt die Schnelligkeit der Bewegungsausführung sowohl bei zyklischen (z.B. Tappings) als auch bei azyklischen (z.B. Torsschuss) Bewegungen von dem vom ZNS erstellten Motorprogramm ab (Keele, Cohen & Ivry, 1990).

Beim Fußball findet eine Beschleunigung des eigenen Körpers statt, so dass die komplexe Schnelligkeit leistungsbestimmend ist. Zur komplexen Bewegungsschnelligkeit werden die Faktoren der elementaren Schnelligkeit, der Kraft und gegebenenfalls der Schnelligkeitsausdauer kombiniert. Welche Faktoren beim Sprinten primär leistungsentscheidend wirken, hängt von der Sprintphase (Beschleunigungsphase, maximale Geschwindigkeitsphase, negative Beschleunigungsphase) ab. Da der Fußball von kurzen Sprintdistanzen geprägt ist, ist insbesondere der Antritt (Beschleunigung) für die fußballspezifische Schnelligkeitsfähigkeit entscheidend. Aufgrund der im Vergleich zur max. Geschwindigkeitsphase längeren Bodenkontaktzeiten, sind Beschleunigungen eindeutig auch abhängig von den Kraftfähigkeiten des Spielers. Die Zeit bis zur maximalen Kraftentfaltung ist hier so lang, dass nicht nur die schnellen Typ II Muskelfasern, sondern auch die langsamen Typ I Fasern genügend Zeit haben, um sich entscheidend an der Kraftbildung zu beteiligen (Tidow & Wiemann, 1993).

Agility im Fußball

Die „Agility“ (Agilität oder Wendigkeit) ist eine Fähigkeit, dessen Qualität von vielen anderen Fähigkeiten (z.B. Kraft, Schnellkraft, Bewegungstechnik, Reaktivkraft, Schnelligkeit) maßgeblich beeinflusst wird (Lloyd & Oliver, 2016). Es ist schwer die Agilität zu definieren, primär setzt sie sich aber aus zwei Komponenten zusammen (Young, McDowell & Scarlett, 2001): Zum einen der Geschwindigkeit, mit der ein Sportler Richtungsänderungen durchführen kann und zum anderen von kognitiven Funktionen (Informationsverarbeitung und Entscheidungsprozesse).

In der Literatur finden sich kontroverse Meinungen über die Spezifität der Agility-Fähigkeit und ihrer Abgrenzung zur Schnelligkeit. Bei einer Studie von Young et al. (2001) verbesserte sich die Sprint-Trainingsgruppe signifikant in ihren Sprintzeiten, während keine Verbesserungen im Agilitätstest festgestellt wurden. Die Agility-Trai-

ningsgruppe verbesserte sich signifikant im Agility-Test, ohne dass die lineare Sprintleistung gesteigert werden konnte. Daraus leiten die Autoren ab, dass beide Fähigkeiten einen sehr spezifischen Charakter besitzen, ohne dass ein großer Trainingstransfer möglich ist. Im Gegensatz dazu, steigerte sich bei einer Studie von Markovic et al. (2007) durch ein Sprinttraining auch die Leistung im Agility-Test. Beide Studien wurden mit erwachsenen Sportlern durchgeführt und sind deshalb möglicherweise nicht repräsentativ für Nachwuchsathleten. Anzumerken ist zudem, dass der Übungs- und Testaufbau (u.a. lineare Sprintstrecke, Anzahl Richtungswechsel) erheblichen Einfluss auf die Trainingsadaptionen und das Testergebnis haben (Sander, 2015).

2.3 Trainingsmethoden im fußballerischen Athletiktraining

Ausdauertraining

Eine Verbesserung der Ausdauer kann durch verschiedene Trainingsmethoden erzielt werden, z.B. durch Intervalltraining, „Repeated Sprint Training (RS)“, umfangesbetonten Ausdauerläufen oder fußballerischen Spielformen. Bei erwachsenen Fußballern werden die größten Trainingswirkungen auf die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit - gemessen anhand der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO₂max) - bei einem Intervalltraining (3-5 min Belastungszeiten) mit einer Intensität von 90-95 % der maximalen Herzfrequenz erzielt (Hoff & Helgerud, 2004). Hoff, Wisloff, Engen, Kemi und Helgerud (2002) zeigten, dass die genannten Intensitäten auch im Rahmen von fußballerischen Spiel- und Trainingsformen erreicht werden können („small sided games (SSG)“ oder Dribbling-Parcours), und somit kein Ausdauertraining ohne Ball notwendig ist, um die Ausdauer maximal effektiv zu trainieren.

Wenngleich die aerobe Ausdauer sowohl im Kindes- als auch im Erwachsenenalter als sehr gut trainierbar gilt (Gamble, 2014), bringt ein Ausdauertraining ab einem gewissen Grad nur noch sehr geringe Leistungssteigerungen. In der Fußballpraxis werden in Bezug auf die Ausdauer die Begriffe „Trainingszustand“ und „Leistungszustand“ oft falsch genutzt. Der Leistungszustand ist nicht nur abhängig vom Trainingszustand, sondern auch sehr stark von der genetischen Veranlagung des Sportlers. Für jeden Sportler existiert eine genetische determinierte Obergrenze des Ausdauerleistungszustands, dessen Wert er auch nach Fortführung des Trainings nur noch sehr gering überbieten kann (Hollmann et al., 1982). Im Fußball gilt diese Obergrenze als individueller, optimaler Leistungszustand der Ausdauer. Im Gegensatz dazu kann ein zu intensives Ausdauertraining sich sogar negativ auf die Leistungsfähigkeit eines Fußballers auswirken, indem eine Umwandlung der schnell-zuckenden Muskelfasern (Typ II) in langsame Muskelfasern (Typ I) stattfindet (Tidow & Wiemann, 1993).

(Spezifisches) Schnelligkeitstraining

Zur Steigerung der Schnelligkeit können verschiedene Trainingsmethoden eingesetzt werden. Man unterscheidet zwischen spezifischen Schnelligkeitstrainingsme-

thoden (freie Sprints, Widerstandssprints, supra-maximale Sprints) und nicht-spezifischen Trainingsmethoden, wie z.B. Krafttraining oder plyometrisches Training (Rumpf, Lockie, Cronin & Jalilvand, 2016). Für den Fußball wichtige Trainingsarten zur Verbesserung der elementaren Schnelligkeit umfassen das Reaktivkrafttraining (z.B. DJ) und das Koordinationstraining zur Steigerung der zyklischen Frequenzschnelligkeit (z.B. Tapping oder supra-maximale Sprints). Generell gilt die elementare Schnelligkeit allerdings als sehr stark anlagebedingt und nur geringfügig trainierbar (Steinhöfer, 2015). Weitaus größere Trainingseffekte können beim Training der komplexen Schnelligkeit erzielt werden (z.B. durch Krafttraining oder Sprinttraining). Das spezifische Schnelligkeitstraining sollte immer mit maximaler Geschwindigkeit ausgeführt werden, um die gewünschten neurophysiologischen Adaptionen zu erreichen.

(Spezifisches) Agility-Training

Ähnlich wie bei der Schnelligkeit, scheint es auch bei der Agilität aus trainingsmethodischer Sicht sinnvoll, zwischen einem spezifischen Agility-Training und nicht-spezifischen Trainingsmethoden (z.B. Krafttraining) zu unterscheiden. Abb. 3 zeigt, wie ein spezifisches Agility-Training progressiv aufgebaut werden kann.

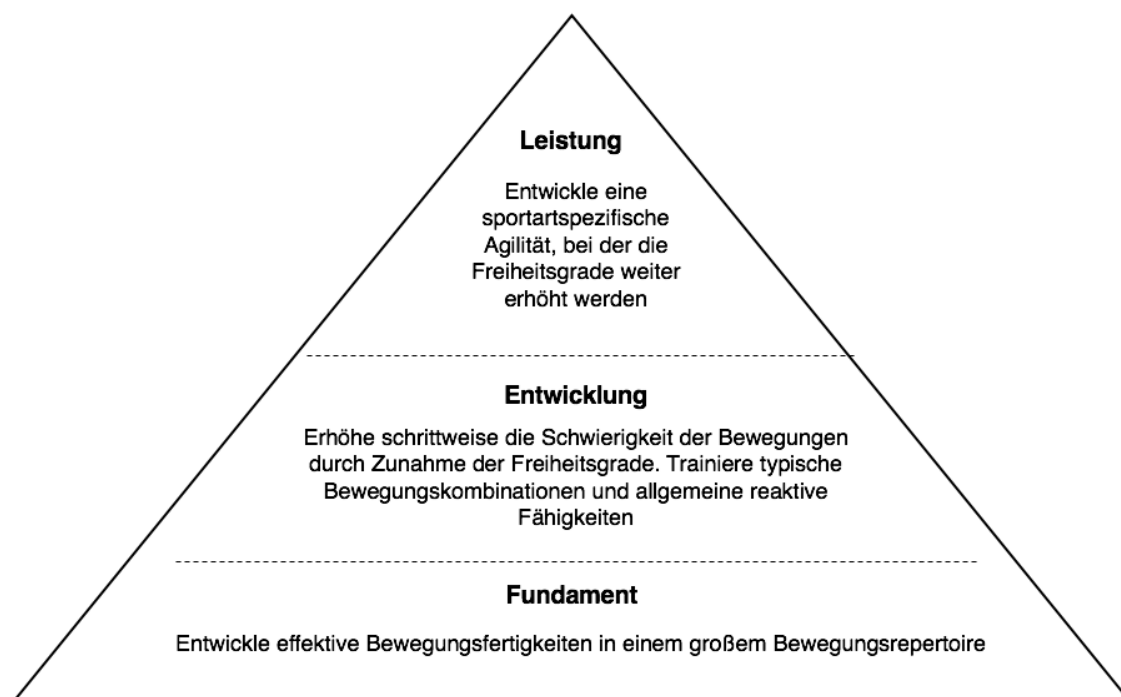


Abb. 3: Pyramide zur Entwicklung der Agility (nach Jeffreys, 2014)

Das Training der grundlegenden Bewegungsfertigkeiten (z.B. Beschleunigen, abbremsen und wieder beschleunigen) sind das Fundament für eine gute Agility. Danach können submaximale und maximale Läufe mit Richtungswechseln, sowohl mit als auch ohne komplexen Reaktionsanforderungen, trainiert werden. Auf der letzten

Ebene sollte die Agility fußballspezifisch trainiert werden, mit hohen Anforderungen an die Bewegungsfertigkeiten und die Handlungsschnelligkeit.

Plyometrisches Training

Plyometrisches Training ist eine Art Sprungtraining, mit dem Ziel die Schnell- und Reaktivkraft zu verbessern. Plyometrische Übungen umfassen vertikale und horizontale sowie ein- und zweibeinige Sprünge, die ohne DVZ (z.B. SJ), im langen DVZ (z.B. CMJ) oder im kurzen DVZ (z.B. DJ) durchgeführt werden können. Unter dem Aspekt der Schnelligkeitsentwicklung sind Sprünge im kurzen DVZ besonders dafür geeignet, die Stützzeiten zu verkürzen und die exzentrische Phase bei der Kraftbildung zu nutzen. Sprünge im langen DVZ können eher dafür genutzt werden, um die Schnellkraftkomponenten gezielt zu trainieren (Wenzel, 2017).

Generell gilt: Beidbeinige Sprünge sind einfacher als einbeinige Sprünge und je höher die Fallhöhe und das Körpergewicht und umso härter der Untergrund, desto belastender ist ein Sprung. Vor Beginn eines plyometrischen Trainings sollte eine Gewöhnungsphase mit allgemein kräftigenden und technischen Aspekten durchlaufen werden. Hierzu zählen ein Krafttraining der Beine und der Rumpfmuskulatur sowie Übungen für eine korrekte Fuß-, Knie-, Hüft- und Oberkörperposition beim Absprung und bei der Landung.

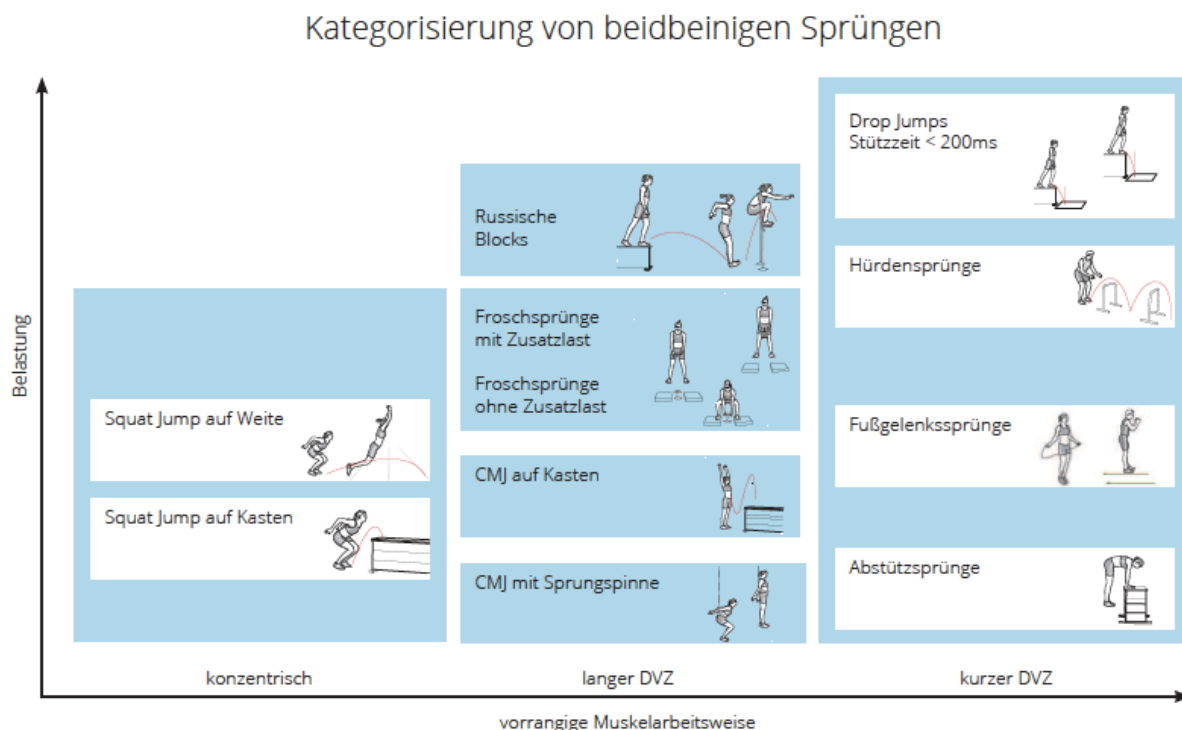


Abb. 4: Kategorisierung von Sprüngen (Wenzel, 2017)

Krafttraining

Beim Krafttraining unterscheidet man zwischen Maximalkraft-, Schnellkraft-, Reaktivkraft- und Kraftausdauertraining. Der erste Schritt zur Verbesserung der Schnellkraft (im Fußball primär wichtig) ist eine Steigerung der Maximalkraft. Der Einfluss der Maximalkraft auf die Schnellkraft und die absolute Bewegungsschnelligkeit wurde durch Schmidtbleicher (1980) experimentell eindeutig nachgewiesen. Im Erwachsenenbereich steigert man die Maximalkraft grundsätzlich zunächst durch ein Hypertrophie-Training, dann durch ein Training der neuro-muskulären Aktivierung. Da beim Fußball der eigene Körper beschleunigt werden muss, ist darauf zu achten, dass kein zu starkes Muskelwachstum stattfindet. Denn bei einer Muskelhypertrophie nimmt ab einem gewissen Punkt die Muskelmasse überproportional zum Kraftgewinn zu (Ehlenz et al., 2003). Auf Basis einer guten Maximalkraft kann die Leistung durch ein Training der Schnell- und Reaktivkraft weiter verbessert werden. Hier steht die Entwicklung der schnellen Kontraktionsfähigkeit im Mittelpunkt. Ein Kraftausdauertraining sollte im Leistungssport Fußball allenfalls bei Krafttrainingseinsteigern und im Reha-Bereich eingesetzt werden, da durch ein solches Training eine für den Fußballer ungewollte Linksverschiebung des Muskelfaserspektrums eintreten könnte (Tidow & Wiemann, 1993). Die Tab. 1 gibt Empfehlungen zu den einzelnen Krafttrainingsmethoden.

Tab. 1: Einteilung der Krafttrainingsmethoden nach Güllich und Schmidtbleicher (1999).

Methode	Intensität	Wdh	Sätze	Satzpause (min)	Tempo
Hypertrophie	60-85 %	6-20	5-6	2-3	langsam bis zügig
Neuro-muskuläre Aktivierung (IK-Training)	90-100 %	1-3	3-6	mind. 6 min	explosiv
Kraftausdauer	50-60 %	20-40	6-8	0,5-1	langsam bis zügig

Güllich und Schmidtbleicher (1999) weisen darauf hin, dass die maximal willkürliche Rekrutierung von motorischen Einheiten nur bei hohen Lasten (> 90 % des Ein-Wiederholungs-Maximums (1-RM)) möglich ist und argumentieren, dass nicht die Bewegungsgeschwindigkeit, sondern die Kontraktionsgeschwindigkeit der Muskelfasern entscheidend ist, um die Schnellkraft zu trainieren. Das ist der Grund, warum das klassische Schnellkrafttraining nicht in der Abbildung aufgeführt ist.

2.4 Besonderheiten beim Athletiktraining im Nachwuchsbereich

Alter und biologischer Reifegrad

Das chronologische Alter und der biologische Reifegrad scheinen beide einen großen Einfluss auf die Trainierbarkeit zu haben (Moran, 2017). Aus diesem Grund können im Nachwuchsathletiktraining nicht einfach die Programme von Erwachsenen übernommen werden (Balyi & Hamilton, 2004; Lloyd & Oliver, 2012). Und auch in den verschiedenen Altersklassen und Entwicklungsstufen unterscheidet sich die Trainierbarkeit voneinander, was differenzierte Trainingsansätze erforderlich macht. Vor dem Eintritt in die Pubertät kann das chronologische Alter zur Trainingsplanung

herangezogen werden, danach sollte der biologische Reifegrad zur Steuerung des Trainings verwendet werden (Balyi & Hamilton, 2004).

Eine in der Sportwissenschaft und -praxis oft verwendete Methode zur Bestimmung des biologischen Reifegrads ist die Berechnung des Zeitpunktes der „peak height velocity (PHV)“ nach Mirwald et al. (2002). Das Wachstum ist ein fortschreitender, allerdings nicht gleichmäßig ablaufender Prozess. Mit dem Eintritt der Pubertät kommt es zu einem Wachstumsschub. Als PHV wird der Zeitpunkt bezeichnet, in dem die Wachstumsraten am höchsten sind. Im Durchschnitt wird die PHV von Jungen im Alter von 13,8-14,2 Jahren erreicht (Malina, Bouchard & Bar-Or, 2004; Philippaerts et al., 2006).

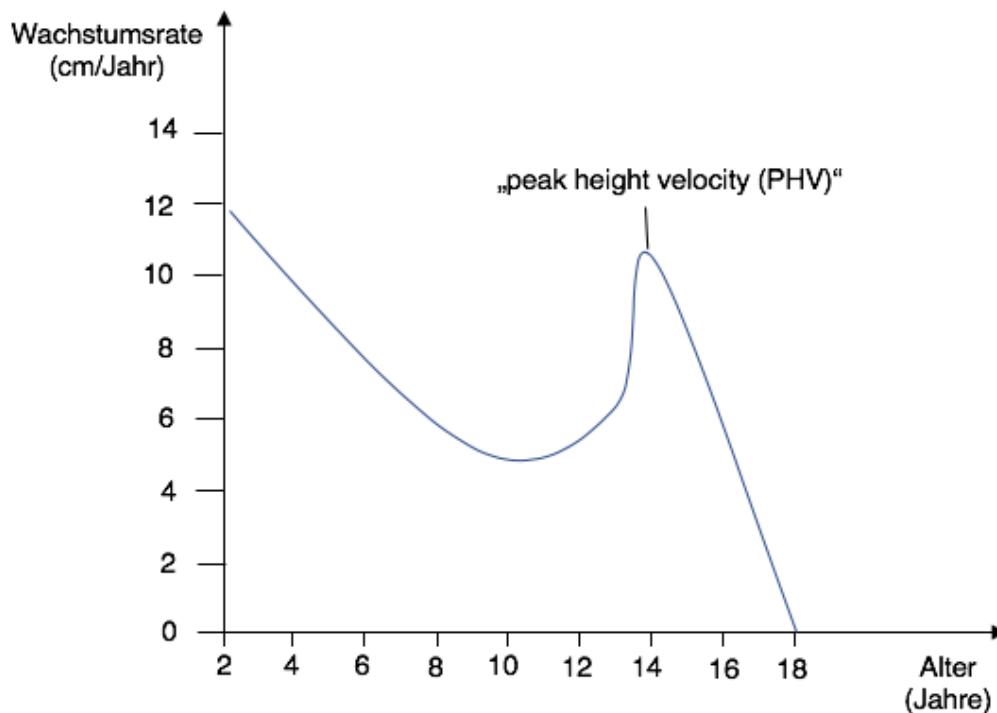


Abb. 5: Wachstumsgeschwindigkeitskurve bei Jungen (nach Statton & Oliver, 2014)

Entwicklung der Athletik durch die natürliche Reife und Fußball

Beim Monitoring der Leistungsentwicklung von Nachwuchssportlern ist es wichtig zwischen Trainingsadaptionen und natürlichen Leistungssteigerungen zu unterscheiden. Die natürliche Entwicklung der physischen Fähigkeiten folgt dabei keinem linearen Verlauf. Nach einer Längsschnittstudie mit belgischen Nachwuchsfußballern, entwickeln sich die athletischen Fähigkeiten (Kraft, Sprungkraft, Schnelligkeit, Agility und Ausdauer) im Zeitraum der PHV (± 6 Monate) am meisten (Philippaerts et al. 2006). Die aktuelle Studienlage zeigt diesbezüglich allerdings ein konträres Bild.

Daten für die allgemeine Population deuten darauf hin, dass die höchsten durchschnittlichen Zuwachsraten für die Kraft und Sprungkraft bei Jungen ca. 12-14 Monate nach der PHV, nahe der „peak weight velocity (PWV)“, auftreten (Malina et al., 2004). Zu gleichen Ergebnissen kommen Vääntinen, Blomqvist, Nyman & Häkkinen, (2011) bei einer Studie mit finnischen Nachwuchsfußballern. Da die Muskelmasse

aufgrund des veränderten Hormonspiegels in der Pubertät zunimmt, steigt auch die Kraft stark an. Zwischen Maximalkraft und Sprungkraft besteht zwar ein Zusammenhang, bei einer Studie mit englischen Nachwuchsfußballern lagen die jährlichen, durchschnittlichen Verbesserungen der vertikalen Sprungfähigkeit zwischen dem 12. und dem 16. Lebensjahr allerdings relativ konstant bei ca. 7 % (Williams, Oliver & Faulkner, 2011). Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass in der Pubertät die Kraft zunimmt, es durch die gleichzeitige Zunahme der Muskelmasse jedoch nicht im gleichen Ausmaß zu einer Erhöhung der Relativkraft kommt (Kraft durch Körpergewicht).

Die größten Schnelligkeitssteigerungen traten bei Studien mit der allgemeinen Population bereits 18 Monate (Beunen et al., 1997) bzw. 8 Monate (Yagüe & De La Fuente, 1998) vor der PHV ein. Vääntinen et al. (2011) konnten die größten Schnelligkeitssteigerungen im PHV-Alter zwischen 13 und 14 Jahren beobachten (5%), wobei die durchschnittlichen Zuwachsraten vom 11. bis zum 15. Lebensjahr relativ konstant waren (Schwankungen von $\pm 1\%$). Zwischen dem 16. und dem 17. Lebensjahr fielen die durchschnittlichen Leistungssteigerungen dann auf unter 2 % ab. Auch bei Philippaerts et al. (2006) fielen die Zuwachsraten nach dem Erreichen der PHV nur leicht ab und blieben relativ konstant. Keine signifikanten Unterschiede im Ausmaß der Schnelligkeitssteigerungen zwischen den verschiedenen Altersstufen (12-16 Jahre), konnten Williams et al., (2011) feststellen. Nach dessen Ergebnissen liegen die jährlichen Schnelligkeitssteigerungen bei Nachwuchsfußballern im Alter zwischen 12 und 16 Jahren bei durchschnittlich ca. 3 %. Ein interessantes Phänomen, welches in mehreren Studien beobachtet werden konnte, ist eine negative Entwicklung der Schnelligkeit bei einigen Probanden im Jahr vor der PHV (Beunen et al. 1997; Philippaerts et al. 2006; Williams et al. 2011). Der Grund dafür wird auf die sog. „adolescent awkwardness“ zurückgeführt, welche einen Zeitraum beschreibt, in der die Koordination aufgrund des rapiden Wachstums vorübergehend eingeschränkt ist (Lloyd, Oliver, Hughes & Williams, 2011). Durch die Erhöhung des Körperschwerpunkts ist es für die jungen Sportler oft anspruchsvoller den Körper während explosiver Bewegungen zu kontrollieren (Chu & Myer, 2013).

Bezüglich der anaeroben Ausdauer besteht Einigkeit, dass diese im Kindesalter herabgesetzt ist und sich erst ab der Pubertät allmählich entwickelt (Gamble, 2014; Steinhöfer, 2015). Als Gründe werden hierfür vor allem hormonelle Aspekte und die geringere Aktivität der glykolytischen Enzyme genannt. Die aerobe Ausdauer kann indes bei entsprechendem Training bereits im Kindesalter sehr gut ausgeprägt sein. Die größte natürliche Entwicklung der aeroben Ausdauer findet im Zeitraum der PHV statt (Malina et al., 2004; Philippaerts et al., 2006; Vääntinen et al., 2011).

Vääntinen et al. (2011) waren die Einzigen, die bei ihrer Längsschnittstudie mit Nachwuchsfußballern (alle Leistungsniveaus) auch eine KG (Nicht-Fußballer) einbezogen. Interessant ist, dass die Nachwuchsfußballer in allen Altersklassen signifikant bessere Testwerte erzielten als deren KG, die jährlichen durchschnittlichen Zuwachsraten sich allerdings nicht signifikant voneinander unterschieden. Es scheint

folglich, als würde ein Fußballtraining alleine, die athletischen Fähigkeiten nicht ausreichend trainieren. Die besseren Testwerte der Nachwuchsfußballer könnte entweder auf ihr größeres, physisches Talent zurückzuführen sein und/oder darauf, dass relativ schnell ein Trainingsplateau einsetzt, welches durch das Fußballtraining alleine nicht überwunden wird. Diese Auffassung ist konform mit der Literatur (Christou et al., 2006; Keiner, 2014; Sander, 2015).

Langfristiger Trainingsansatz

Das Training einer Fußballmannschaft stellt eine Aufgabe dar, für die es viele unterschiedliche Ansätze und Methoden gibt. Im Erwachsenenbereich steht der Erfolg der Mannschaft für den Trainer stets im Mittelpunkt, während im Nachwuchstraining die Entwicklung der einzelnen Spieler über dem Mannschaftserfolg stehen sollte. In der DFB-Ausbildungskonzeption heißt es: „Die Förderung jedes einzelnen Kindes und Jugendlichen muss absolute Priorität haben. Das schließt (vor allem langfristig) Mannschaftserfolge keinesfalls aus, aber immer als Resultat altersgemäß ausgebildeter, spielstarker und kreativer Einzelspieler!“ (DFB, o. J.-a). Das Athletiktraining im Nachwuchsfußball sollte folglich nicht auf kurzfristige Erfolge ausgerichtet sein, stattdessen sollte ein langfristiger Trainingsansatz verfolgt werden, damit die Spieler ihre maximale physische Leistungsfähigkeit im Erwachsenenalter erreichen können. Da die Sprintfähigkeit die wichtigste Komponente der Athletik im Fußball darstellt (vgl. 2.1), sollte das Training langfristig so aufgebaut sein, dass die Spieler ihr volles Schnelligkeitspotenzial im Erwachsenenalter ausschöpfen können.

Um der Erkenntnis gerecht zu werden, dass die Trainierbarkeit von jugendlichen Sportlern stark von deren Alter und Entwicklungsstand abhängig ist, wurden Modelle für den langfristigen athletischen Leistungsaufbau entwickelt. Dabei werden Empfehlungen gegeben, in welchen Zeiträumen der Entwicklung welche Trainingsschwerpunkte gesetzt werden sollten. Nachfolgend werden zwei bekannte Modelle zum langfristigen athletischen Leistungsaufbau von Nachwuchssportlern erläutert: Das „Long-Term Athlete Development Model (LTAD)“ von Balyi und Hamilton (2004) und „Youth Physical Development Model (YPD)“ von Lloyd und Oliver (2012).

Das „Long-Term Athlete Development Model (LTAD)“ von Balyi und Hamilton (2004) gibt vor, dass es kritische Trainingsphasen gibt - sog. „windows of opportunities“ - in denen Nachwuchssportler besonders sensitiv auf bestimmte Trainingsreize reagieren. Findet in den kritischen Zeitfenstern kein spezifisches Training statt, können die Sportler nicht ihr volles Leistungspotenzial im Erwachsenenalter entfalten. Den Autoren nach, fallen die Fenster für eine maximale Trainierbarkeit mit den Perioden zusammen, in denen die natürliche Entwicklung für die motorischen Fähigkeiten am höchsten sind. Für die Schnelligkeit ist die erste kritische Trainingsphase das Alter 7 bis 9 Jahre (Jungs), während die Pubertät die zweite kritische Phase für eine erhöhte Trainingssensitivität darstellt. Allgemeine koordinative Fähigkeiten sollten nach dem LTAD-Modell bei Jungen im Alter zwischen 9 und 12 Jahren verstärkt trainiert werden, um ein Fundament für eine spätere Spezialisierung zu legen. Die opti-

male Trainierbarkeit für die Ausdauer beginnt mit dem Eintreten der PHV. Als kritisches Zeitfenster für das Krafttraining wird bei Jungen der Zeitraum 12 bis 18 Monate nach dem Eintreten der PHV genannt. Trotz dem Verweis auf Zeitfenster, in denen bestimmte motorische Fähigkeiten im Training priorisiert werden sollten, empfehlen die Autoren, alle motorischen Fähigkeiten im gesamten Entwicklungsverlauf zu trainieren.

Als Alternative zum LTAD Modell wurde von Lloyd und Oliver (2012) das „Youth Physical Development Model (YPD)“ entwickelt. Im YPD Modell wird davon ausgegangen, dass keine „windows of opportunities“ existieren, da es keine empirischen Beweise gibt, welche die Existenz für sensible Trainingsperioden bestätigen (Ford et al., 2011). Ein weiterer Kritikpunkt ist, dass im LTAD Modell nur fünf körperliche Fähigkeiten berücksichtigt werden, was die Qualität des Modells einschränkt. Den Autoren nach schafft das YPD-Modell hingegen einen ganzheitlichen und evidenzbasierten Ansatz zum langfristigen Leistungsaufbau. Abbildung 6 zeigt das YPD-Modell für Jungen. Dabei verweist die Schriftgröße auf die Wichtigkeit der Komponenten im jeweiligen Entwicklungsbereich. Die hellblau-gefärbten Felder beziehen sich auf die vorpubertäre Phase, die dunkleren Felder verweisen auf pubertäre Anpassungsphasen.

YOUTH PHYSICAL DEVELOPMENT (YPD) MODEL FOR MALES																						
CHRONOLOGICAL AGE (YEARS)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21+		
AGE PERIODS	EARLY CHILDHOOD			MIDDLE CHILDHOOD							ADOLESCENCE							ADULTHOOD				
GROWTH RATE	RAPID GROWTH			↔		STEADY GROWTH					↔		ADOLESCENT SPURT					↔		DECLINE IN GROWTH RATE		
MATURATIONAL STATUS	YEARS PRE-PHV										←		PHV		→		YEARS POST-PHV					
TRAINING ADAPTATION	PREDOMINANTLY NEURAL (AGE-RELATED)										↔		COMBINATION OF NEURAL AND HORMONAL (MATURITY-RELATED)									
PHYSICAL QUALITIES	FMS		FMS					FMS			FMS											
	SSS		SSS					SSS			SSS											
	Mobility		Mobility							Mobility												
	Agility		Agility							Agility				Agility								
	Speed		Speed							Speed				Speed								
	Power		Power							Power				Power								
	Strength		Strength							Strength				Strength								
	Hypertrophy										Hypertrophy		Hypertrophy							Hypertrophy		
	Endurance & MC		Endurance & MC									Endurance & MC				Endurance & MC						
TRAINING STRUCTURE	UNSTRUCTURED			LOW STRUCTURE						MODERATE STRUCTURE				HIGH STRUCTURE				VERY HIGH STRUCTURE				

Abb. 6: Langfristiger Leistungsaufbau nach dem YPD-Modell für Jungen (Lloyd und Oliver, 2012)

Bei allen Komponenten der Athletik sollte ein progressiver Trainingsansatz gewählt werden. Dies bedeutet, dass die Komplexität, die Intensität sowie die Strukturierung der Trainingsmaßnahmen nicht nur vom Alter und der biologischen Reifephase abhängig ist, sondern auch von der Trainingserfahrung und des Könnens der jungen Athleten.

Grundlegende Bewegungsfertigkeiten (FMS) sind die Basis für eine sportartspezifische Ausbildung. Das YPD-Modell schlägt deshalb vor, die Konzentration zunächst auf die Ausbildung der FMS zu legen, bevor im weiteren Entwicklungsverlauf immer mehr das Training der sportartspezifischen Fähigkeiten (SSS) überwiegen sollte.

Während die Komponente Beweglichkeit im LTAD-Modell keine Berücksichtigung findet, wird von den Autoren des YPD-Modells empfohlen, dass ein Beweglichkeitstraining in allen Entwicklungsphasen stattfinden sollte. Das mittlere Kindesalter (Alter 5-11) wird dabei als wichtigste Zeit erachtet, um die Beweglichkeit zu entwickeln, da physiologisch gesehen, die erhöhte Dehnfähigkeit und verringerte Festigkeit von Muskeln und Sehnen, die mit dieser Entwicklungsphase assoziiert werden, besonders große Verbesserung durch ein Beweglichkeitstraining zulassen (Sands, 2002). Dem Ausdauertraining wird im YPD Modell keine hohe Priorität eingeräumt, da die Ausdauer bereits durch das sportsspezifische Training und Wettkämpfe ausreichend trainiert wird. Außerdem bleibt die Ausdauer bis ins Erwachsenenalter gut trainierbar und muss nicht bereits im Kinder- und Jugendalter spezifisch trainiert werden.

Der frühere Mythos wonach Krafttraining bei Kindern und Jugendlichen zu Verletzungen an den Wachstumsfugen führen könnte (Phys. Sportsmed., 1983; Ryan & Saliccioli, 1976) und aufgrund der fehlenden anabolen Hormone sowieso keine Wirksamkeit hat (Vrijens, 1978), ist heute wissenschaftlich eindeutig widerlegt. Entgegen dessen besteht heute Einigkeit darüber, dass Krafttraining in jedem Alter sicher und effektiv trainiert werden kann (Faigenbaum et al., 2009; Horn, 2010; Lloyd & Oliver, 2012). Nach Meinung von Experten kann bereits ab einem Alter von 6 Jahren sicher und effektiv mit dem Krafttraining begonnen werden (Lloyd & Oliver, 2016). Dem Krafttraining wird im YPD Modell über den gesamten Entwicklungsverlauf eine hohe Wichtigkeit beigemessen. Eine Steigerung der Maximal- und Schnellkraft ist im Kindesalter normalerweise nicht das Ergebnis struktureller Veränderungen in der Muskulatur, sondern auf Verbesserungen der inter- und der intramuskulären Koordination zurückzuführen (Lloyd & Oliver, 2016). Ungeachtet dessen, kann der relative Kraftzuwachs während der Kindheit größer sein als jener, der sich in der Pubertät vollzieht (Behringer, Vom Heede, Yue & Mester, 2010). Bei Eintritt der Pubertät verändert sich der Hormonspiegel und bewirkt einen Zuwachs an Muskelmasse, was sich auch auf die Maximal- und Schnellkraft positiv auswirkt (Viru et al., 1999). Der Beginn der PWV, welche i. d. R. ca. 12-16 Monate nach der PHV auftritt, ist ein guter Zeitpunkt, um mit einem Hypertrophie-Training zu starten. Bei der Gestaltung des Krafttrainings müssen das Trainingsalter und die technische Kompetenz der jungen Athleten berücksichtigt werden (Faigenbaum et al., 2016; Lloyd & Oliver, 2012). Als Widerstand können zunächst das eigene Körpergewicht oder einfache Hilfsmittel

verwendet werden. Für Athleten, die bereits Erfahrungen und technische Kompetenzen besitzen, können komplexere Übungen mit Zusatzgewicht eingesetzt werden (z. B. Varianten des Ausfallschritts, Kniebeugen oder Kreuzheben).

Die Schnelligkeit gilt in allen Entwicklungsphasen als trainierbar und kann durch verschiedene Trainingsarten (u.a. Sprinttraining, Agility-Training, Krafttraining, plyometrisches Training) verbessert werden (Moran, 2017; Rumpf, Cronin, Pinder, Oliver & Hughes, 2012). Es besteht allerdings Unklarheit darüber, welche Trainingsart in welchem Stadium der Entwicklung am effektivsten ist (Moran, 2017; Peitz et al., 2018; Rumpf et al., 2012). Es wird empfohlen, in allen Phasen der Entwicklung mehrere Trainingsmethoden einzusetzen, um die Schnelligkeit bestmöglich zu trainieren.

Es wird angenommen, dass die Agilität in allen Entwicklungsphasen trainierbar ist. Die vorpubertäre Phase eignet sich aufgrund der erhöhten Plastizität sehr gut zur Entwicklung von Bewegungstechniken. Das Hauptaugenmerk sollte dabei auf grundlegende Bewegungsfertigkeiten liegen (z. B. Beschleunigen oder Richtungswechsel). Im weiteren Entwicklungsverlauf sollte die Trainingsanforderungen zunehmend komplexer gestaltet werden, mit einer zugleich steigenden Berücksichtigung der sportartspezifischen Bewegungscharakteristiken (Lloyd & Oliver, 2012). Die Adoleszenz stellt eine ganz entscheidende Phase für die Agilität dar, da die Koordination nach einem rapiden Wachstumsschub oft erheblich eingeschränkt ist („adolescent awkwardness“) (Philippaerts et al., 2006). In dieser Phase müssen viele Bewegungsfertigkeiten wieder nachgebessert werden (Drabik, 1996).

Der in der englischen Literatur verwendete Begriff „Power“ bezieht sich auf alle Trainingsmethoden, bei denen Muskelkontraktionen gegen einen äußeren Widerstand (z. B. Gewichte, Maschinen, Körpergewicht) so schnell wie möglich ausgeführt werden. Dies schließt die in der deutschen Literatur üblichen Trainingsbegriffe „Schnellkrafttraining“ und „plyometrisches Training“ mit ein. Die Power ist in allen Entwicklungsperioden trainierbar und wird im YPD-Modell neben der Kraft, der Agilität und der Schnelligkeit die höchste Priorität beigemessen.

3 Forschungsstand zum Athletiktraining im mid-PHV Alter

In diesem Kapitel wird die aktuelle Studienlage zum Athletiktraining im mid-PHV Alter analysiert, um Rückschlüsse zu ziehen, welche Faktoren die Wirksamkeit des Trainings in dieser Entwicklungsphase maßgeblich bestimmen (u.a. Trainingsmethode, Übungsauswahl, Wiederholungen (Wdh), Pausenzeiten, Trainingsfrequenz). Studien mit „Nicht-Sportlern“ werden nicht in die Analyse einbezogen, da deren Ergebnisse nicht repräsentativ für Nachwuchsleistungssportler sind (Granacher et al., 2016). Da bei den meisten zu analysierenden Studien das Entwicklungsstadium nicht bestimmt wurde, wurde folgende PHV-Einteilung anhand des chronologischen Alters vorgenommen: 10 bis 12,99 Jahre = pre-PHV, 13 bis 15,99 Jahre = mid-PHV, 16 bis 18 Jahre = post-PHV (Meylan, Cronin, Oliver, Hughes & Manson, 2014; Rumpf et al., 2012).

3.1 Schnelligkeitstraining im mid-PHV Alter

Moran et al. (2018) liefern die einzige Studie zum freien Sprinttraining im mid-PHV Alter, bei der die PHV der Probanden ermittelt wurde. Als pubertäre Entwicklungsphase definierten die Autoren den Zeitraum von einem Jahr vor bis zu einem Jahr nach Eintreten der PHV ($-1,0 \text{ Jahr} \leq \text{Eintritt PHV} < 1 \text{ Jahr}$). Ziel der Untersuchung war es, die Wirkungen eines achtwöchigen Sprinttrainings bei Nachwuchsfußballern ($13,8 \pm 0,8$ Jahre) zu analysieren. Zwei EG absolvierten dafür ein Sprinttraining (16 x 20 m, 90 s Pause) einmal (EG1) oder zweimal (EG2) die Woche. Eine KG führte im Rahmen ihres Fußballtrainings kein spezifisches Sprinttraining durch. Alle drei Gruppen konnten sich im 20 m Sprint im Durchschnitt verbessern (EG1: 1,5 %, $ES = 0,33$; EG2: 0,9 %, $ES = 0,15$; KG: 1,5 %, $ES = 0,24$). Die geringen Effektstärken der EG sowie die Ergebnisse der KG deuten darauf hin, dass biologische Reifungsprozesse für die Verbesserungen verantwortlich waren. Außerdem zeigte sich entgegen den ursprünglichen Erwartungen, dass zwei wöchentliche Einheiten nicht gegenüber einer Einheit überlegen war. In der genannten Studie wurde das gleiche Experiment auch mit prä-PHV Nachwuchsfußballern durchgeführt. Während sowohl bei einer als auch bei zwei wöchentlichen Sprint-Einheiten ähnliche Effektgrößen wie im mid-PHV Alter erzielt wurden, blieben Leistungsverbesserungen in der KG aus. Dies deutet darauf hin, dass Sprinttraining im präpubertären Alter möglicherweise effektiver ist als im mid-PHV Alter. Moran und Kollegen empfehlen deshalb im mid-PHV Alter nur eine wöchentliche Sprinteinheit zu absolvieren und das Krafttraining in dieser Phase stattdessen zu priorisieren, um der erhöhten Verletzungsgefahr, welche mit dem pubertären Wachstumsschub einhergeht, entgegenzuwirken.

Bei einer Studie von Meckel et al. (2012) wurde eine Nachwuchsfußballmannschaft ($14,5 \pm 0,6$ Jahre) in zwei Gruppen aufgeteilt. Beide Gruppen absolvierten über sieben Wochen jeweils drei Einheiten in der Woche. Eine Gruppe (EG1) absolvierte nur kurze Sprints (4-6 Sätze, 4 x 50 m „all out“, 2 min Pause zwischen den Wdh und 4 min zwischen den Sätzen), während die andere Gruppe (EG2) nur lange „Sprints“ (4 x 200 m „85 % of max speed“, 5 min Pause zwischen den Wdh) durchführte. Im

Ergebnis steigerten sich beide Gruppen signifikant ($p < 0,01$) im 30 m Sprint (EG1 = 2,5%, EG2 = 1,7 %), ohne Unterschiede zwischen den Gruppen. Daraus schlussfolgern die Autoren, dass beide Trainingsmethoden im mid-PHV Alter gleichermaßen wirksam sind, um die Schnelligkeit zu trainieren.

Im Erwachsenenbereich scheinen Widerstand-Sprints eine sehr wirkungsvolle Methode zur Steigerung der Schnelligkeit zu sein (Rumpf et al., 2016). Ob diese Methode auch im Nachwuchsbereich effektiv ist, untersuchten Rumpf und Kollegen (2015) durch den Einsatz eines Zugschlittens bei prä- und mid/post-PHV Nachwuchssportlern (12-14 Einheiten in 6 Wochen, 8-12 Sprints x 15-30 m, Zusatzgewicht: 2,5-10 % des eigenen Körpergewichts). Bei der mid/post-PHV Trainingsgruppe konnten signifikante Verbesserungen im 30 m Sprint festgestellt werden (5,8 %, $p < 0,05$, $ES = 0,76$). Obwohl keine KG eingesetzt wurde, deutet das Ausmaß der Verbesserungen auf die Wirksamkeit dieser Trainingsmethode hin. In der prä-PHV-Trainingsgruppe konnten hingegen keine signifikanten Verbesserungen der Sprintzeiten festgestellt werden. Die Autoren schließen daraus, dass ein Schlittentraining erst ab dem Eintritt in die Pubertät ein wirkungsvolles Trainingsmittel zu Steigerung der Schnelligkeit darstellt.

Buchheit et al. (2010) verglichen die Wirkungen von zwei verschiedenen Trainingsprotokollen bei einer Nachwuchsfußballmannschaft ($14,5 \pm 0,5$ Jahre) über 10 Wochen. Eine Gruppe (EG1) absolvierte einmal pro Woche ein „Repeated Shuttle Sprint (RS)“ Training (2-3 Sätze à 5-6 Sprints über 15-20 m, 14-23 s Pause zwischen den Wdh und 3 min zwischen den Sätzen), während die andere Gruppe (EG2) ein Trainingsprotokoll mit verschiedenen schnellkräftigen Übungen (Koordinationsleiter, Sprünge, kurze wiederholende Sprints) durchführte (4-6 Übungen à 4-5 Wdh mit 3 min Pause zwischen den Übungen und ca. 45 s zwischen den Sätzen). Im 30 m Sprint konnten sich beide Gruppen signifikant ($p < 0,01$) im Vergleich zum Eingangstest steigern (2,1 bzw. 1,9 %), ohne Unterschiede zwischen den Gruppen. Da keine KG getestet wurde, ist aber unklar ob die Verbesserungen auf die Trainingsprotokolle zurückzuführen sind.

Die Tab. 2 fasst die aktuelle Studienlage zum Sprinttraining im mid-PHV Alter zusammen. Da nur bei einer Studie eine KG einbezogen wurde, kann nicht eindeutig belegt werden, dass Sprinttraining im mid-PHV Alter wirksam ist. Zwar deuten die untersuchten Studien auf eine Wirksamkeit hin, vergleichsweise könnte das mid-PHV Alter jedoch die ungünstigste Trainingsphase darstellen. Dies steht im Widerspruch zum LTAD-Modell, wonach die Pubertät eine Phase für eine erhöhte Trainingssensitivität in Bezug auf das Schnelligkeitstraining darstellt (Balyi & Hamilton, 2004).

Tab. 2: Pre-Post Interventionsstudien zum Sprinttraining im mid-PHV Alter.

Autoren	Trainingsart	Trainingsvariablen	Einheiten	Test	Verb. (%)
Moran et al. (2018) ²	freie Sprints	16 x 20 m (90 s Pause zwischen den Wdh)	8 x 1 = 8	20 m	1,5
			8 x 2 = 16		0,9
	KG	Nur Fußball	-		1,5
Meckel et al. (2012)	freie Sprints („all out“)	4-6 Sätze, 4 x 50 m (2 min Pause zwischen den Wdh und 4 min zwischen den Sätzen)	7 x 3 = 21	30 m	2,5*
	85 % of max speed	4 x 200 m (5 min Pause zwischen den Wdh)			1,7*
Rumpf et al. (2015)	Widerstands- Sprints	8-12 x 15-30 m	6 x 2-3 = 12-14	30 m	5,8*
Buchheit et al. (2010)	„Repeated Shuttle Sprints“	2-3 Sätze, 5-6 x 15-20 m (14-23 s Pause zwischen den Wdh und 3 min zwischen den Sätzen)	10 x 1 = 10	30 m	2,1*
	Plyo's, Repeated Sprints & Koordinationsleiter	4-6 Übungen, 4-5 Sätze (45 s Pause zwischen den Sätzen und 3 min zwischen den Übungen)			1,9*

* Signifikante Verbesserung von pre- zu post-Test innerhalb der Gruppe: $p < 0,05$.

Empfehlungen der Trainingsparameter lassen sich aus der aktuellen Studienlage nicht eindeutig ableiten. Es scheint jedoch, als würde eine wöchentliche Sprint-Einheit ausreichend sein. Bezüglich der Pausen wird für erwachsene Sportler in der Literatur eine Dauer von mindestens 3 min zwischen den einzelnen Sprints empfohlen, um die Kreatinphosphatspeicher vollständig aufzufüllen (Grosser & Renner, 2007). Da sich Kinder und Jugendliche nach Sprints schneller erholen als Erwachsene, reichen kürzere Pausen aus, bis die vollständige Leistungsfähigkeit wiederhergestellt ist (Ratel, Williams, Oliver & Armstrong, 2004). Umso jünger die Athleten, desto kürzer können die Pausen zwischen den Wdh sein. Eine Metaanalyse von Moran (2017) zeigt, dass beim Agilitäts- und Schnelligkeitstraining von Nachwuchssportlern eine Pausendauer von mindestens 90 s zu größeren Effektstärken hinsichtlich von Schnelligkeitszugewinnen führt ($ES = 1,13$), als kurze Pausen (< 90 s; $ES = 0,58$). Der Einsatz von Widerstandssprints könnte ein besonders wirksames Mittel zu sein, um die Schnelligkeit im mid-PHV Alter zu trainieren.

² Es wurden keine Nullhypothesen-Tests durchgeführt.

3.2 Agility-Training im mid-PHV Alter³

Chaouachi et al. (2014a) verglichen die Wirkungen eines Agility- und eines “small-sided games (SSG)“-Trainings bei Nachwuchsfußballern ($14,2 \pm 0,9$ Jahre) über sechs Wochen. Beide Gruppen führten einmal wöchentlich im Rahmen des Fußballtrainings ein Agility- bzw. ein SSG-Training durch. Das Agility-Training bestand aus 4 Übungen mit 2 Sätze à 2-4 Wdh: Skipping (10 m), 5-0-5 m Lauf, halber T-Lauf (20 m), Shuttle-Lauf (4 x 10 m). Zwischen den Wdh betrug die Pause eine Minute. In den SSG wurde 1 vs. 1, 2 vs. 2 und 3 vs. 3 für 30, 60 und 90 s gespielt (4-8 Spiele, 2 min Pause zwischen den Spielen). Vor und nach der Trainingsphase wurden die lineare Schnelligkeit (30 m) sowie die Agility mit und ohne Ball getestet. In beiden Trainingsgruppen und in der KG (nur reguläres Fußballtraining) konnten signifikante Verbesserungen ($p < 0,05$) in allen Testvariablen zwischen Pre- und Post-Test festgestellt werden. Die SSG-Gruppe verbesserte sich im Agility-Test mit Ball signifikant mehr als die anderen beiden Gruppen. Im Agility-Test ohne Ball und im Sprinttest verbesserte sich die Agility-Trainingsgruppe signifikant mehr als die anderen beiden Gruppen. Aus den Ergebnissen kann geschlossen werden, dass sich die Agilität und die lineare Sprintfähigkeit im mid-PHV Alter durch ein Agility-Training positiv entwickeln. SSG scheinen ein gutes Trainingsmittel darzustellen, um die Agility mit Ball zu verbessern.

Das Ziel einer Studie von Chaalali et al. (2016) war es, die Effekte von zwei unterschiedlichen Agility-Trainingsprogrammen bei Nachwuchsfußballern ($14,5 \pm 0,9$ Jahre) zu vergleichen. Beide Trainingsgruppen führten zusätzlich zu den regulären Fußballseinheiten zwei Agility-Trainings pro Woche durch (20-25 min, 3-4 Übungen). Der Unterschied beider Trainingsarten war, dass eine Gruppe (EG1) die Laufrichtungen vor dem Start bereits kannte, während die andere Gruppe (EG2) spontan auf visuelle Anweisungen reagieren musste (Vgl. Abb. 7). Jede Übung wurde jeweils 2-3-mal mit Ball und ohne Ball durchlaufen. Zwischen den Wdh betrug die Pause 50 s und zwischen den Übungen 2-3 min. Vor und nach der sechswöchigen Trainingsphase absolvierten alle Spieler einen Sprinttest über 15 m, sowie verschiedene Agility-Tests. Im Sprinttest verbesserten sich die beiden Trainingsgruppen um 2,2 % und damit signifikant mehr ($p < 0,05$) als die KG (0,6%). In den Agility-Tests verbesserte sich die EG1 signifikant mehr als die anderen beiden Gruppen und die EG2 signifikant mehr als die KG. Die Ergebnisse zeigen, dass ein Agility-Trainingsprogramm die Sprint- und Agility-Fähigkeiten von mid-PHV Nachwuchssportlern effektiv trainieren kann. Da in den angewandten Tests keine Reaktionsanforderungen abverlangt wurden, diese im Fußball aber sehr wichtig sind, kann jedoch keine Aussage getroffen werden, ob ein Agility-Training mit oder ohne Reaktionsanforderungen für Fußballer besser geeignet ist.

³ Zur Beurteilung der Agility-Fähigkeit werden unterschiedliche Tests verwendet (z.B. T-Test, Zig-Zag-Lauf, 5-0-5-Lauf). Da in dieser Arbeit nicht auf jeden Test einzeln eingegangen werden kann, wird allgemein von Agility-Test gesprochen.

Exercise 1: Drill starts with coach's visual signal: ball touched with the insole of the coach's foot. The player strongly accelerates towards the 5 m cone. As the player passes the 3 m distance the coach slightly moves the ball (around 20 cm aside) in the direction of the left or right cone. Upon this "second visual signal" the player quickly changes direction towards the indicated cone and continues his sprint until reaching the cone. WB: the exercise was performed with the player dribbling the ball from the start to the end.

Exercise 2: Same starting procedure as exercise 1. As the player passes the 3 m distance the coach moves the ball in a random direction and the player must immediately sprint to the nearest cone without loss of speed with four possible directions: forward, backwards, left, or right. Only the forward direction is not accompanied by a change of direction. WB: the exercise was performed with the player dribbling the ball from the start to the end.

Exercise 3 (COD and agility training): Drill performed with or without the ball, depending of the session objective. Same starting procedure as exercise 1. The player rapidly goes through the 3-m slalom, and then accelerates over a distance of 2 m before taking the right or left cone direction as in exercise 1.

Exercise 4 (COD and agility training): Drill performed with the ball. Same starting procedure as exercise 1. The player rapidly goes through the 3-m slalom. When out of the slalom he passes the ball to the coach. When the ball is smoothly shot from the coach towards one of the right or left small cages, the player accelerates to reach the ball before it enters the cage, blocks the ball and then changes direction towards the opposite cage and when approaching it, shoots the ball into the net.

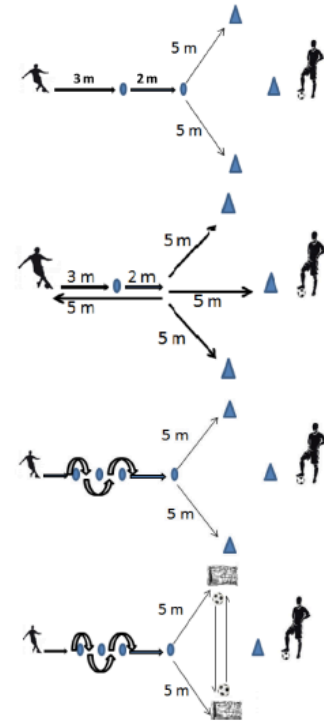


Abb. 7: Fußballspezifische Agility-Übungen nach Chaalali et al. (2016)

Chtara et al. (2017) verglichen die Effekte von drei unterschiedlichen Trainingsmethoden: Plyometrisches Training (EG1), Agility-Training (EG2) und „Repeated Shuttle Sprint Training (RS)“ (EG3) bei Nachwuchsfußballern ($13,6 \pm 0,3$ Jahre) über einen Zeitraum von sechs Wochen. Zweimal pro Woche wurden die Trainingsprotokolle (ca. 20 min) während des regulären Mannschaftstrainings durchgeführt, als Ersatz für fußballspezifische Übungen (z.B. Passformen). Eine KG absolvierte in dieser Zeit das reguläre Fußballtraining. Das Agility-Programm bestand aus vier Übungen mit je 4-5 Wdh (Skipping, 5-0-5-Lauf, T-Lauf, 4 x 10 m Shuttle-Lauf). Zwischen den einzelnen Wdh betrug die Pause 1 min bzw. beim Shuttle-Lauf 2 min. In der Plyo-Gruppe wurden pro Trainingseinheit 4-5 Sprungübungen für die unteren Extremitäten durchgeführt, mit 2-3 Sätzen und 8-12 Wdh (90 s Satzpause). Das RS-Protokoll bestand aus 2-4 Sätzen mit jeweils 5-6 Sprints über 20-30 m (180° -Richtungswechsel nach der Hälfte der Strecke). Zwischen den Wdh betrug die Pause 20 s, zwischen den Sätzen 4 min. In allen Trainingsgruppen wurde das Trainingsvolumen von Woche zu Woche gesteigert. Im Vergleich zum Eingangstest konnte sich die Agility-Gruppe im 30 m Sprint um durchschnittlich 1,4 % verbessern ($p < 0,01$) und damit signifikant mehr ($p < 0,05$) als die KG (0,9 %). Die Plyo-Gruppe konnte ähnliche Verbesserungen erzielen (1,52 %) ohne einen signifikanten Unterschied zur Agility-Gruppe. Die größten Verbesserungen im 30 m Sprint, signifikant deutlicher als in allen anderen Gruppen, wurden von der RS-Trainingsgruppe erzielt (2,4 %). Auch im Agility-Test konnten sich alle Trainingsgruppen im Vergleich zur Eingangsuntersuchung signifikant steigern ($p < 0,01$) und signifikant höhere Verbesserungen als die KG (0,8 %) erzielen ($p < 0,05$). Die Leistungssteigerungen der Agility- und der RS-

Gruppe (4 % und 3,8 %) waren zudem signifikant höher, als die in der Plyo-Trainingsgruppe (2 %). Die Ergebnisse aus dieser Studie lassen vermuten, dass ein RS-Training mit Richtungswechseln die Agilität ähnlich effektiv trainiert, wie ein Agility-Training. Zudem wurde durch das RS-Training die lineare Schnelligkeit deutlicher verbessert, als durch das Agility-Training.

Tab. 3: Pre-Post Interventionsstudien zum Agility-Training im mid-PHV Alter.

Autoren	Trainingsart	Trainingsvariablen	Einheiten	Sprint-test	Verbes (%)	Agility-Test	Verbes (%)
Chaouachi et al. (2014a)	Agility-Training (EG1)	4 Übungen mit 2 Sätzen à 2-4 Wdh (1 min Pause zwischen den Wdh)	6 x 1 = 6	30 m	4,0 *#b	15 m mit Richtungswechsel (ohne bzw. mit Ball)	11,2*#b (5,6*#)
	SSG (EG2)	4-8 Spiele über entweder 30 s (1 vs. 1), 1 min (2 vs. 2) oder 2 min (3 vs. 3). Pause: 2 min.			1,5*		5,5* (9,1*#a)
	KG	nur Fußballtraining			1,5*		5,4* (3,5*)
Chaalali et al. (2016)	Agility-Training ohne Reaktionsanforderungen (EG1)	4 Übungen, 6 x Wdh (50 sec Pause zwischen den Wdh und 2-3 min zwischen den Übungen)	6 x 2 = 12	15 m	2,2*#	15 m - Agility-Lauf (ohne bzw. mit Ball)	5,4*#b (6,4*#)
	Agility-Training mit Reaktionsanforderungen (EG2)	4 Übungen, 6 x Wdh (50 sec Pause zwischen den Wdh und 2-3 min zwischen den Übungen)			2,2*#		3,7*# (6,4*#)
	KG	nur Fußballtraining			0,6		1,6* (3,2*)
Chtara et al. (2017)	Plyo-Training (EG1)	3-4 Übungen, 2-3 Sätze à 8-12 Wdh (90 sec Satzpause)	6 x 2 = 12	30 m	1,5*#	20 m Zigzag	2*#
	Agility-Training (EG2)	4 Übungen, 4-5 Wdh (1-2 min Pause zwischen den Wdh)			1,4*#		4*#a

	„Repeated Shuttle Sprints“ (EG3)	2-4 Sätze, 5-6 x 20-30 m (20 sec Pause zwischen den Wdh und 4 min zwischen den Sätzen)			2,4*#ab		3,8*#a
	KG	nur Fußballtraining			0,7*		0,8

* Signifikante Verbesserung von pre- zu post-Test innerhalb der Gruppe: $p < 0,05$.

Verbesserung signifikant höher als in KG: $p < 0,05$.

a Verbesserung signifikant höher als in EG1: $p < 0,05$.

b Verbesserung signifikanter höher als in EG2: $p < 0,05$.

c Verbesserung signifikanter höher als in EG3: $p < 0,05$.

Bei mid-PHV Nachwuchsfußballern führt ein mehrwöchiges Agility-Training zu signifikanten Steigerungen der Agility- und Sprintfähigkeit. Innerhalb einer Trainingseinheit können die Agility-Läufe im Wechsel mit und ohne Ball sowie mit oder ohne Reaktionsanforderungen durchgeführt werden. Dies führt zu Abwechslung und könnte daher die Motivation der Nachwuchsspieler positiv beeinflussen. SSG sind ein gutes Trainingsmittel, um die Agilität mit Ball zu trainieren, können ein spezifisches Training der Agilität jedoch nicht ersetzen. Durch ein RS-Training scheinen die Agilität und die Schnelligkeit im mid-PHV Alter ähnlich effektiv trainiert zu werden, wie durch ein Agility-Training.

Eine wöchentliche Agility-Einheit mit ca 15-20 Wdh und einer Pausendauer von 50-90 s zwischen den einzelnen Wdh, stellt eine effektive Trainingsbelastung im mid-PHV Alter dar, um die Schnelligkeit und die Agilität effektiv zu trainieren.

3.3 Krafttraining im mid-PHV Alter

Keiner, Sander, Wirth, & Schmidbleicher (2013) untersuchten die Wirkungen eines Krafttrainings bei C-Jugendspielern (Alter zu Beginn der Studie: 13 Jahre) eines Bundesliga-Nachwuchsleistungszentrums (NLZ) über den Zeitraum von zwei Jahren. Bei den Jugendlichen, die zusätzlich zum normalen Fußballtraining, Krafttraining betrieben, verbesserte sich die 30 m Sprintleistung innerhalb von zwei Jahren um durchschnittlich 5,8 %, während sich die KG (nur reguläres Fußballtraining) im gleichen Zeitraum lediglich um durchschnittlich 3 % verbesserte. Der Gruppenvergleich zeigt, dass die durchschnittlichen Verbesserungen in der Krafttrainingsgruppe signifikant höher waren, als die in der Kontrollgruppe ($p < 0,05$). In den Sprung- und Maximalkraft-Testungen lagen die Verbesserungen nach zwei Jahren Krafttraining sogar noch deutlich höher. Das Krafttraining wurde neben vier Fußballtrainingseinheiten zweimal wöchentlich durchgeführt (eine Stunde vor dem Fußballtraining). Als Hauptübung absolvierten die Spieler Nacken- und Frontkniebeugen, jeweils einmal wöchentlich. Zusätzlich führten die Spieler Übungen wie Bankdrücken, Kreuzheben, Rudern, Nackendrücken sowie verschiedene Rumpf-Übungen durch. Das Training der Kniebeuge wurde wie folgt periodisiert:

- 4 Wochen Techniktraining;

- 4 Wochen Hypertrophie I mit 5 Serien à 10 Wdh und mind. 3 min Pause;
- 4 Wochen Hypertrophie II mit 5 Serien à 6 Wdh und mind. 3 min Pause;
- 4 Wochen Intermuskuläre Koordination (IK) mit 5 Serien à 4 Wdh und mind. 5 min Pause.

Innerhalb eines Jahres wurde dieser Zyklus zweimal durchlaufen. Immer, wenn die Spieler die Übung an zwei Trainingseinheiten nacheinander korrekt ausführen konnten, wurde das Gewicht erhöht. Das Training der Rumpfmuskulatur und der oberen Extremitäten wurde über den gesamten Verlauf in Form eines Hypertrophietrainings ausgeführt (3-5 Sätze à 10 Wdh). Neben der Kniebeugevariante mussten die Spieler in einer Trainingseinheit drei Oberkörper- und eine „Core“-Übung durchführen. Die Ergebnisse belegen, dass ein zweijähriges Krafttraining, mit Fokus auf Kniebeugen, die Schnellkraft und die Schnelligkeit von Nachwuchsfußballern deutlich steigert.

Bei einer weiteren Studie zum Krafttraining mit Nachwuchsfußballern (12-15 Jahre), wurde eine Mannschaft mit fünf wöchentlichen Fußballtrainingseinheiten in zwei Gruppen aufgeteilt (Christou et al., 2006). Eine Gruppe (EG1) führte zusätzlich zum Mannschaftstraining ein Krafttrainingsprogramm für 20 Wochen durch, während die andere Gruppe (KG1) nur das Mannschaftstraining absolvierte. Zusätzlich wurde eine KG aus gleichaltrigen Nicht-Fußballern gebildet (KG2). Die EG absolvierte zweimal die Woche ein Krafttraining. In den ersten vier Wochen wurde eine niedrige Intensität gewählt (5 Sätze à 15 Wdh bei 30-50 % des 1-RM). Der Fokus wurde dabei auf die korrekte Technik gelegt. Folgende Übungen wurden in dieser Reihenfolge absolviert: Beinpresse, Bankdrücken, Beinstrecker-Maschine, Butterfly, Beinbeuger-Maschine, Schulterdrücken, Lat-Zug, Wadenheber, Sit-ups und Rückenstrecker. In den folgenden 16 Wochen wurde die Intensität progressiv gesteigert, von anfangs 55 % (1-RM) bis zu 80 % (1-RM) am Ende. Immer wenn ein Spieler die Übung über zwei Trainingseinheiten sauber ausführen konnte, wurde das Gewicht um 5 % erhöht. Bei jeder Übung wurden 2-3 Sätze à 8-15 Wdh durchgeführt. Die Satzpausen betrugen 2-3 min und die Pausen zwischen den Übungen 3-5 min. Bei den Übungen mit dem eigenen Körpergewicht, absolvierten die Probanden 20-30 Wdh. Das Krafttraining führte zu einer Steigerung der Maximalkraft an der Beinpresse (1-RM) um 58 %, während sich die KG1 um 34 % und KG2 um 17 % steigerten. Die EG verbesserte sich signifikant mehr als die anderen beiden Gruppen ($p < 0,01$). In den vertikalen Sprungtests konnte sich die EG ebenfalls signifikant mehr verbessern als die anderen beiden Gruppen. Im Vergleich zum Eingangstest verringerte sich die 30 m Sprintzeit nach 16 Wochen Krafttraining signifikant um 2,5 % ($p < 0,05$). Zwar lagen die Verbesserungen über denen der KG1 (0,04 %) und der KG2 (0,5 %), die Gruppenunterschiede waren jedoch nicht statistisch signifikant. Interessant ist, dass zweimal pro Woche im Rahmen des Mannschaftstrainings ein Sprinttraining durchgeführt wurde, sich die KG1 allerdings nach 16 Wochen im Sprinttest nicht verbessern konnte. Möglicherweise liegt dies daran, dass keine Belastungsprogression oder -variation im Sprinttraining zum Einsatz kam und deshalb eine Leistungsstagnation eingetreten ist. Im Agility-Test steigerten sich beide Gruppen, EG und KG1, signifi-

kant ($p < 0,05$) im Vergleich zum Pre-Test. Die Verbesserungen lagen jeweils signifikant über denen der KG2 ($p < 0,05$). Aus den gewonnenen Daten schlussfolgern die Autoren, dass Krafttraining an Maschinen eine effektive Trainingsmethode darstellt, um schnellkräftige Leistungen im mid-PHV Alter zu steigern.

Hetzler et al. (1997) untersuchten die Wirkungen eines Krafttrainings bei jugendlichen Baseballspielern (Alter: $13,6 \pm 0,9$ Jahre). Die Spieler wurden in drei Gruppen aufgeteilt: Eine Krafttrainingsgruppe, die bereits Erfahrungen im Bereich Krafttraining hatte (EG1), eine Krafttrainingsgruppe ohne Vorerfahrungen (EG2) und eine KG. Das Krafttraining wurde über 12 Wochen dreimal wöchentlich durchgeführt und bestand aus den folgenden Übungen: Bankdrücken, Lat-Zug, Kniestrecker-Maschine, Beinbeuger-Maschine, Bizeps Curls, Unterarm Curl, Unterarm Curls hinter dem Rücken, Trizeps-Strecker und verschiedenen Schulterübungen. Bei allen Übungen wurden 3 Sätze à 10 Wdh. durchgeführt (1. Satz = 50 % des 10-RM, 2. Satz = 75 % des 10-RM, 3. Satz = 100 % des 10-RM). EG1, EG2 und KG verbesserten ihre Leistungen im 1-RM-Test an der Beinpresse um 41, 40 und 14 %. Dabei konnten signifikante Gruppenunterschiede zwischen EG1 und EG2 vs. KG festgestellt werden ($p < 0,05$). Beim vertikalen Sprungtest konnten sich die beiden EG ebenfalls signifikant mehr steigern als die KG. Im 40 Yard-Sprinttest verbesserten sich alle drei Gruppen, wobei sich - kontroverserweise - die KG signifikant mehr verbesserte als EG1. Ein Blick auf die Übungsauswahl könnte die Erklärung liefern, schließlich wurden nur zwei Beinübungen absolviert, wovon keine die im Sprint wichtigen Hüftextensoren beansprucht. Die Aussagekraft der Ergebnisse wird außerdem dadurch limitiert, dass die KG im Schnitt um 3,1 cm zwischen Pre- und Post-Test gewachsen war, während die EG1 und die EG2 im Mittel nur um 1,4 bzw. 1,3 cm wuchsen. Damit scheint es, als hätte sich die KG im Zeitraum der Studie im pubertären Wachstumsschub befunden, während die beiden EG bereits ihren Wachstumsschub vor Beginn der Studie abgeschlossen bzw. diesen noch nicht erreicht hatten. Da die reifungsbedingten Leistungssteigerungen nicht linear verlaufen, kann in dieser Studie nur schwer zwischen Trainingsadaptionen und reifebedingten Leistungszugewinnen unterschieden werden.

Das Ziel einer Studie von Santos und Janeira (2012) war es, die Effekte eines zehnwöchigen Krafttrainings bei Nachwuchsbasketballern (14-15 Jahre) auf die Schnellkraft zu untersuchen. Dafür wurde eine Basketballmannschaft in zwei Gruppen aufgeteilt (EG und KG). Neben den vier wöchentlichen Basketballeinheiten absolvierten die Spieler der EG zusätzlich zweimal pro Woche ein Krafttraining. Das Programm bestand aus sechs Übungen mit 2-3 Sätzen à 10-12 Wdh (negatives Bankdrücken, Beinpresse, Lat-Zug, Beinstrecker-Maschine, Pullover und Beinbeuger-Maschine). Wenn ein Proband die Übung im letzten Satz ohne Probleme öfters als 12-mal durchführen konnte, wurde das Gewicht um 5 % gesteigert. In allen Sprungtestungen konnte sich die EG signifikant mehr steigern als die KG ($p < 0,05$).

Tab. 4: Pre-Post Interventionsstudien zum Krafttraining im mid-PHV Alter.

Autoren	Trainingsart	Trainingsvariablen	Einheiten	Sprint-Test	Verb. (%)	Kraft-test	Verb. (%)
Keiner et al. (2013)	Krafttraining: Kniebeuge als Hauptübung (EG1)	<u>Periodisierung:</u> Jeweils 4 Wochen: 1. Techniktraining 2. 5 Serien à 10 Wdh 3. 5 Serien à 6 Wdh 4. 5 Serien à 4 Wdh	64 x 2 = 128 (Studien-dauer: 2 Jahre)	30 m	5,8*#	1-RM Na-cken-knie-beuge	290,9*#
	KG	nur Fußball			3,0*		59,7*
Christou et al. (2006)	Krafttraining mit Maschinen (EG1)	<u>Periodisierung:</u> 4 Wochen: 5 Serien à 15 Wdh 16 Wochen: 2-3 Serien à 8-10 Wdh	20 x 2 = 40	30 m	2,5*	Bein- presse	58*#b
	EG2	nur Fußball			0,04		33,8*#
	KG	Nicht-Sportler			0,5		17,3*
Hetzler et al. (1997)	Krafttraining mit Maschinen (EG1)	3 Serien à 10 Wdh	12 x 3 = 36	36,6 m	?	1-RM Bein- presse	41*#
	Krafttraining mit Maschinen (EG2)	3 Serien à 10 Wdh			?		40*#
	KG	nur Basketball			? a		14*

* Signifikante Verbesserung von pre- zu post-Test innerhalb der Gruppe: $p < 0,05$.

Verbesserung signifikant höher als in KG: $p < 0,05$.

a Verbesserung signifikant höher als in EG1: $p < 0,05$.

b Verbesserung signifikanter höher als in EG2: $p < 0,05$.

Im mid-PHV Alter können die Maximal- und Schnellkraft sowie die Schnelligkeit durch verschiedene Formen des Krafttrainings (z.B. Maschinen oder freie Gewichte) effektiv trainiert werden. Welche Methode im mid-PHV Alter am wirksamsten sind, kann nicht abschließend beantwortet werden. Es wird aber generell vermutet, dass ein Krafttraining mit freien Gewichten einem Maschinen-Training im Nachwuchsbereich überlegen ist (Lesinski, Prieske & Granacher, 2016). Kniebeugen haben sich dabei als eine effektive Übung erwiesen. Zudem wird vermutet, dass ein Krafttraining mit

hohen Bewegungsgeschwindigkeiten (z.B. olympischen Gewichtheben) dem traditionellen Krafttraining im Nachwuchsbereich geringfügig überlegen ist (Peitz et al., 2018).

Das Prinzip des „progressive overload“ spielt im Krafttraining eine wichtige Rolle - ohne progressive Belastungssteigerung können keine nachhaltigen Leistungssteigerungen erzielt werden (Faigenbaum et al., 1996). Die aktuelle Studienlage zum Krafttraining im mid-PHV Alter zeigt, dass eine Periodisierung mit zunehmender Trainingslast und abnehmender Wiederholungszahlen zu signifikanten Leistungsverbesserungen führt.

Im Erwachsenenbereich werden mit einer Trainingsfrequenz von 3-5 Krafteinheiten pro Woche die größten Adaptionen erzielt (Tan, 1999), wohingegen im Nachwuchsbereich weiterhin Unklarheit über die optimale Frequenz besteht. Klar scheint, dass durch zwei wöchentliche Einheiten höhere Trainingseffekte erzielt werden, als durch eine Einheit pro Woche (Faigenbaum et al., 2002; Peitz et al., 2018). Bei den analysierten Studien im mid-PHV Alter konnten, durch zwei wöchentliche Krafttrainingseinheiten, mit einer Unterbrechung von mind. 48 Stunden, signifikante Leistungssteigerungen erreicht werden. Die Satzpausen lagen zwischen 2-4 min.

Mit einer Metaanalyse untersuchten Lesinski et al. (2016) die Dosis-Wirkungs-Beziehungen beim Krafttraining im Nachwuchssport. Insgesamt, unter Einbezug aller Alters- und Entwicklungsstufen, zeigte sich, dass 5 Sätze à 6-8 Wdh und eine Intensität von 80-89 % des 1-RM zu den größten Trainingseffekten führen. Es ist bekannt, dass sich die minimal, notwendige Trainingsdosis für Anpassungen zwischen Trainierten und Untrainierten unterscheidet und dass Einsteiger erst eine gewisse Adaptionsphase benötigen, bevor sie schwere Gewichte bewegen sollten. Bei der Trainingsplanung ist deshalb, neben dem Alter und des biologischen Reifegrads, auch die Krafttrainingserfahrung der jungen Sportler zu berücksichtigen (Faigenbaum et al., 2016). Für das Krafttraining im Nachwuchsbereich, hat sich in der bisherigen wissenschaftlichen Forschung ein Periodisierungsschema, welches in Tab. 5 dargestellt ist, als wirksam erwiesen.⁴

Tab. 5: Periodisierung des Krafttrainings im mid-PHV Alter.

Trainingsphase	Dauer	Sätze	Wdh	Intensität	Satzpause	Frequenz	Organisation
Generelle Adaptionsphase/Technikphase	4 Wochen	2-3	10-15	< 60 % 1-RM	30 s	2/Woche	Zirkeltraining („Bodyweight“)
Kraftphase (Hypertrophie)	4-8 Wochen	3-5	6-10	< 80 % 1-RM	2-3 min	2/Woche	Übung für Übung (mit

⁴ Dieses Schema gilt für Krafttraining-Anfänger. Vgl. zu den Empfehlungen auch Faigenbaum et al. (2016) und Fleck und Kraemer (2004).

							Zusatzge- wicht)
IK- oder Schnell- kraft-Phase	4 Wochen	3-5	4-5	IK: > 85 % 1-RM Schnell- kraft: (leichtes) Zusatzge- wicht	2-5 min	2/Woche	Übung für Übung (mit Zusatzge- wicht)

3.4 Plyometrisches Training im mid-PHV Alter

Das Ziel einer Studie von Asadi, Ramirez-Campillo, Arazi & Sáez de Villarreal (2018) war es, die Effekte eines sechswöchigen plyometrischen Trainings bei Nachwuchsfußballern unterschiedlicher biologischer Entwicklungsstadien, zu vergleichen. 60 Probanden wurden in drei Entwicklungsstufen aufgeteilt (pre-, mid- und post-PHV) und dann zufällig der EG oder der KG zugewiesen. Alle Probanden absolvierten dreimal wöchentlich ihr reguläres Fußballtraining. Die EG führten darüber hinaus zweimal wöchentlich ein 30 bis 40-minütiges plyometrisches Training durch. Das Trainingsprotokoll bestand aus DJ aus unterschiedlichen Höhen (20, 40, 60 cm). Pro Höhe wurden 2 Sätze à 10 Wdh durchgeführt. Die Pause zwischen den Wdh und Sätzen betrug 7 bzw. 120 s. Vor und nach der Trainingsphase wurden die Nachwuchsfußballer im Standweitsprung, CMJ und 20 m Sprint getestet. Beim Ausgangstest konnte bei keiner KG signifikante Veränderungen im Vergleich zum Eingangstest festgestellt werden. Dagegen erzielten alle Trainingsgruppen (pre-, mid- und post-PHV) signifikante Verbesserungen ($p < 0,05$) im CMJ ($ES = 0,48; 0,57; 0,73$), im Standweitsprung ($ES = 0,62; 0,65; 0,7$) und im 20 m Sprint ($ES = 0,12; 0,58; 0,66$). Zwischen den jeweiligen Trainings- und Kontrollgruppen unterschieden sich alle Leistungsveränderungen signifikant voneinander ($p < 0,05$). Im mid-PHV Alter ($14 \pm 0,7$ bzw. $14,2 \pm 0,6$ Jahre) lagen die Verbesserungen im 20 m Sprint bei 7,6 % (KG = 1,3 %), beim CMJ bei 17,4 % (3,5%) und beim Standweitsprung bei 9,3 % (1,3 %). Diese Studie deutet daraufhin, dass DJ eine äußerst wirkungsvolle Übung darstellen, um die Schnelligkeit und die Schnellkraft im mid-PHV Alter zu trainieren.

Bei einer Studie von Chtara et al. (2017) führte die Plyo-Trainingsgruppe ($13,6 \pm 0,3$ Jahre) ein Programm über eine Dauer von sechs Wochen zweimal wöchentlich durch (Vgl. 3.2). Je Trainingseinheit wurden 4 Übungen (z.B. CMJ, DJ, ein- und zweibeinige Weitsprünge) mit 2-3 Sätzen und 8-12 Wdh durchgeführt. Die Satzpause betrug 90 s. Nach der Trainingsphase konnte die Plyo-Gruppe ihre 30 m Sprintzeit um 1,5 % und ihre Agility-Zeit um 2 % verbessern, jeweils signifikant mehr als die KG. In allen Sprungtests verbesserte sich die Plyo-Gruppe signifikant mehr als alle anderen Gruppen (6,7-9,8 %).

Chaouachi et al., (2014b) verglichen die Effekte eines plyometrischen Trainingsprogramms mit einem kombinierten Programm aus plyometrischen- und Balance Übungen. Dafür wurden aus Schülern im Alter von 12-15 Jahren drei Gruppen gebildet: Plyo (EG1), Plyo und Balance (EG2) und eine KG. Über acht Wochen absolvierten beide EG dreimal wöchentlich ihr Trainingsprotokoll. Jedes Training bestand aus 5 Übungen mit 1-2 Sätzen à 8-15 Wdh. Das „progressive overload principle“ wurde angewandt, in dem die Bodenkontakte sowie die Komplexität der Übungen zunehmend erhöht wurden. Während die EG1 fünf Sprungübungen (z.B. CMJ, DJ, einbeinige Hürdensprünge oder Seitsprünge) durchführte, absolvierte EG2 vier Sprungübungen und eine Balance-Kraftübung (einbeinige Kniebeuge auf einem Bosu-Pad). Außerdem lag der Fokus bei EG2 speziell auf einer stabilen Landung, so dass nur 50 % der Wdh im DVZ absolviert wurden. Bei EG2 wurde z.B. bei den einbeinigen Hürdensprüngen nach jedem zweiten Sprung die Landeposition für 3 s gehalten, während die Sprünge bei der EG1 fortlaufend durchgeführt wurden. Im Vergleich zum Eingangstest verbesserten sich EG1 und EG2 nach acht Wochen Training im CMJ (14,1 und 11,7 %), im Standweitsprung (10,8 und 9,6 %) und im 30 m Sprint (3 und 3,8 %) mit Effektstärken zwischen 0,55-1,26. Die Wahrscheinlichkeit, dass sich die Verbesserungen der beiden EG voneinander unterscheiden, lag bei allen Tests unter der „clinically meaningful threshold“⁵ von 75 %. Dagegen lagen die Wahrscheinlichkeiten, dass sich die beiden EG mehr als die KG verbessert hat, bei allen Tests oberhalb dieser Grenze. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass beide Trainingsprotokolle zu ähnlich, bedeutsamen Leistungssteigerungen führen.

Meylan und Malatesta (2009) untersuchten die Wirkungen eines „in-season“ Plyo-Programms über acht Wochen. Eine Nachwuchsfußballmannschaft wurde in eine EG (13,3 ± 0,6 Jahre) und eine KG (13,1 ± 0,6 Jahre) aufgeteilt. Zweimal wöchentlich absolvierten alle Probanden ein 90-minütiges Fußballtraining. Die EG absolvierte während des Mannschaftstrainings, direkt nach dem Aufwärmen, ein 20-minütiges plyometrisches Trainingsprogramm. Das Protokoll bestand aus jeweils 4 Übungen (z.B. Koordinationsleiter, Pogo-Sprünge oder Hürdensprünge) und 2-4 Sätzen à 6-12 Wdh (90 s Satzpause). Das Plyo-Training führte zu signifikant schnelleren Sprint- und Agility-Zeiten (2,1 % bzw. 9,6 %) und signifikanten Verbesserungen im CMJ und DJ (7,9 % bzw. 10,9 %) im Vergleich zum Eingangstest. Die KG konnte sich in keinem Test signifikant ($p < 0,05$) verbessern. Trotzdem lagen keine statistisch, signifikanten Gruppenunterschiede in der Leistungsentwicklung vor. Im Sprinttest waren die durchschnittlichen Verbesserungen in der KG sogar größer als in der EG (2,4 vs. 2,1%).

Das Ziel einer Studie von Moran et al. (2017) war es herauszufinden, ob ein niedrig-dosiertes plyometrisches Training (40 Bodenkontakte, ca. 12 min) die Sprint- und Sprungfähigkeiten bei pre- und mid-PHV Hockeyspielern verbessert. Dafür wurde für beide Entwicklungsstadien eine EG und eine KG gebildet. Die EG absolvierten über

⁵ „clinically meaningful threshold“ = Wahrscheinlichkeit, dass die durchschnittliche Verbesserung in einem Test eine Effektstärke von über 0,2 („smallest worthwhile change“) überschreitet, liegt bei über 75 % (Hopkins, Marshall, Batterham & Hanin, 2009).

einen Zeitraum von sechs Wochen zweimal wöchentlich ein Plyo-Trainingsprogramm, welches aus horizontalen und vertikalen sowie aus uni- und bilateralen Übungen bestand (CMJ, Weitsprung, einbeinige Weitsprünge). Das Plyo-Training wurde direkt nach dem Aufwärmen durchgeführt. In dieser Zeit absolvierte die KG ein niedrig-intensives Hockey-Techniktraining. Bei den bilateralen Übungen wurden 10 Wdh durchgeführt (unilateral je 5 Wdh). In den Pausen zwischen den Übungen (60 s) absolvierten die Spieler Mobilitätsübungen für die Oberkörper. Vor und nach der Trainingsphase wurden der CMJ sowie die 10 und 30 m Sprintzeiten getestet. Die mid-PHV EG ($0 \pm 0,9$ Jahre von PHV; $14,3 \pm 0,6$ Jahre) konnte sich vergleichsweise am meisten verbessern, jedoch auch nur mit trivialen bis kleinen Effektstärken. Die mid-PHV EG verbesserte sich im 10 m Sprint um 2,3 % ($ES = 0,4$), während sich die Kontrollgruppe um 1 % verschlechterte ($ES = 0,1$). Im 30 m Sprint und im CMJ lagen Verbesserungen unterhalb der „smallest worthwhile change“ Grenze ($ES = 0,2$). Dies deutet darauf hin, dass ein zweimal wöchentliches plyometrisches Training mit 40 Bodenkontakten pro Einheit, ein zu geringes Trainingsvolumen darstellt, um Leistungsverbesserungen zu erzielen.

Tab. 6: Pre-Post Interventionsstudien zum Plyo-Training im mid-PHV Alter.

Autoren	Trainingsart	Trainingsvariablen	Einheiten	Sprint-Test	Verb. (%)	Sprungtest	Verb. (%)
Asadi et al. (2018)	DJ aus versch. Höhen (EG1)	6 Sätze à 10 Wdh Wdh-Pause: 6 s Satzpause: 120 s	6 x 2 = 12	20 m	7,6*#	CMJ und Standweitsprung	17,4*# (9,3*#)
	KG	nur Fußballtraining			1,3		3,5 (1,3)
Chtara et al. (2017)	Plyo-Programm (EG1)	3-4 Übungen mit 2-3 Sätzen à 8-12 Wdh (90 s Satzpause)	6 x 2 = 12	30 m	1,5*#	Einbeiniger-Weitsprung	7,9*# (9*#)
	KG	nur Fußballtraining			0,7*	(links & rechts)	1 (1,4*)
Chaouachi et al. (2014b) ⁶	Plyo-Programm (EG1)	5 Übungen mit 1-2 Sätzen à 8-15 Wdh	8 x 3 = 24	30 m	3,8	CMJ und Standweitsprung	11,7 (9,6)
	Plyo + Balance (EG2)				3		14,1 (10,8)
	KG				0		1,68

⁶ Es wurden keine Nullhypothesen-Tests durchgeführt.

							(0,6)
Meylan und Malatesta (2009)	Plyo-Programm (EG1)	4 Übungen mit 2-4 Sätzen à 6-12 Wdh (90 s Satz-pause)	8 x 2 = 16	10 m	2,1*	CMJ und SJ	7,9* (0,6)
	KG	nur Fußballtraining			2,4		-3,8 (-4,5)
Moran et al. (2017) ⁷	Plyo-Kurzprogramm (EG1)	4 Übungen mit je einem Satz à 10 Wdh (60 s Satz-pause)	8 x 2 = 16	30 m	0,4	CMJ	0,9
	KG	nur Hockeytraining			0,5		-1

* Signifikante Verbesserung von pre- zu post-Test innerhalb der Gruppe: $p < 0,05$.

Verbesserung signifikant höher als in KG: $p < 0,05$.

Es gibt ausreichend Evidenz, dass die Schnellkraft, die Agilität und die Schnelligkeit im mid-PHV Alter durch ein plyometrisches Training gesteigert werden kann. Die vorliegende Analyse zum plyometrischen Training im mid-PHV Alter lässt folgende Rückschlüsse auf die Belastungsparameter zu:

- Ein moderates bis hohes Trainingsvolumen (60-120 Bodenkontakte pro Einheit) scheint notwendig zu sein, um Trainingseffekte zu erzielen.
- Es sollten Satzpausen von mind. 90 s eingehalten werden. Die größten Trainingseffekte wurden bei einer Satzpause von 2 min erreicht.
- 2-3 Einheiten pro Woche über einen Zeitraum von 6-8 Wochen, führen zu signifikanten Leistungsverbesserungen in den Sprung- und Sprintfähigkeiten.
- Balance- und plyometrisches Training können gemeinsam trainiert werden.
- DJ aus unterschiedlichen Höhen scheinen eine besonders effektive Variante darzustellen, um die Schnelligkeit zu verbessern.

Eine Metaanalyse von Moran (2017) zeigt, dass Programme über acht Wochen zu wesentlich größeren Veränderungen führt, als kürze Trainingszeiträume (so auch: Johnson, Salzberg & Stevenson 2011). Ramírez-Campillo et al. (2015a) zeigten bei einer Studie mit Nachwuchsfußballern (10-17 Jahre), dass es bei einem Plyo-Programm mit zwei Einheiten pro Woche keinen Unterschied macht, ob die Einheiten an zwei aufeinanderfolgenden Tagen, oder mit einer Pause von 48 Stunden durchgeführt werden. Bei einer weiteren Studie mit Nachwuchsfußballern ($13,0 \pm 2,3$ Jahre) zeigte sich, dass sowohl mit als auch ohne Progression des Trainingsvolumens, signifikante Verbesserungen in der Sprungkraft und der Schnelligkeit erzielt werden können, ein Programm mit Belastungsprogression jedoch diesbezüglich überlegen ist (Ramírez-Campillo et al., 2015b). Ob bereits eine plyometrische Einheit pro Woche zu Leistungsverbesserungen führt, wurde im mid-PHV Alter bisher noch nicht

⁷ Es wurden keine Nullhypothesen-Tests durchgeführt.

untersucht. Zum Vergleich der Trainingseffekte bei unterschiedlicher Satzpausen, liegt aktuell nur eine Studie mit pre-PHV Sportlern vor. Demnach führen Satzpausen von 30, 60 oder 90 s zu vergleichbaren Verbesserungen (Ramirez-Campillo et al., 2014). Allerdings ist bekannt, dass umso älter die Athleten, desto länger die notwendigen Erholungszeiten sind (Ratel et al., 2004). Im mid-PHV Alter könnten 30 s deshalb nicht mehr ausreichend sein, um sich zwischen zwei Sätzen zu erholen. Die geringen Verbesserungen bei Moran et al. (2017) könnten zum Teil auch auf die vergleichsweise kurzen Satzpausen (60 s) zurückzuführen sein.

3.5 Balance Training im mid-PHV Alter

Es gibt empirische Befunde dafür, dass schlechte Gleichgewichtsfähigkeiten das Auftreten von Sportverletzungen begünstigen und dass durch ein Balance-Training die Verletzungsanfälligkeit im Nachwuchsbereich signifikant gesenkt wird (Emery, Cassidy, Klassen, Rosychuk & Rowe, 2005). Neuere Forschungsergebnisse deuten zudem darauf hin, dass durch ein Balance-Training auch die Schnellkraftfähigkeiten verbessert werden (Granacher, Gollhofer & Kriemler, 2010; Kean, Behm & Young, 2006; Yaggie & Campbell, 2006). Bei Nachwuchssportlern zeigen sich besonders starke Adaptionen (Granacher, 2018), wahrscheinlich da der Gleichgewichtssinn und die Koordination im Kinder- und Jugendalter noch nicht voll entwickelt sind und das motorische Lernen schneller und besser funktioniert als im Erwachsenenalter (Payne & Isaacs, 2012). Ob sich die Trainingsadaptionen in den unterschiedlichen Entwicklungsstufen voneinander unterscheiden, bedarf weiterer Forschungsarbeit. Bei Erstklässlern konnten Granacher et al. (2011) keine Verbesserung in Folge eines vierwöchigen Balance-Trainings feststellen. Die Autoren vermuten allerdings, dass die fehlende Konzentration beim Trainieren für die nicht-signifikanten Ergebnisse verantwortlich sein könnte. Granacher et al. (2010) untersuchten auch bei post-PHV Schülern ($19 \pm 1,5$ Jahre) die Wirkungen eines vierwöchigen standardisierten Balance-Trainingsprogramms (nach Gruber et al., 2007) mit drei ca 30-minütigen Einheiten pro Woche. Zwei Einheiten wurden im Rahmen des regulären Sportunterrichts durchgeführt, während eine Einheit als „Hausaufgabe“ aufgegeben wurde. Alle Übungen wurden einbeinig mit leicht gebeugtem Knie (ca. 30°), mit den Händen an den Hüften fixiert, barfuß und mit offenen Augen durchgeführt. Die Probanden absolvierten 4 Übungen (Kreisel, Luftkissen, Softmatte, Balance-Board) mit jeweils 4 Sätzen. In einem Satz wurde die Position pro Bein für 20 s gehalten. Die Pause zwischen den Sätzen betrug 40 s und zwischen den Übungen 2 min. Nach den vier Wochen verbesserte sich die EG im CMJ um durchschnittlich 4,99 % (KG: -3,51 %), im SJ um 4,74 % (-6,79 %) und im Balance-Test um 17,7 % (6,92 %). Somit kann vermutet werden, dass Balance-Training eine geeignete Trainingsmethode darstellt, um die athletische Leistungsfähigkeit von Nachwuchsfußballern zu verbessern und das Risiko von Sportverletzungen zu reduzieren. Ob und in welcher Form ein Balance-Training speziell im mid-PHV Alter effektiv ist, wurde bisher nicht untersucht.

3.6 Kombinierte Trainingsprogramme im mid-PHV Alter

Mathisen (2014) untersuchte die Wirkungen eines achtwöchigen Athletiktrainings bei Nachwuchsfußballern ($13,5 \pm 0,24$ Jahre). Bei der einmal wöchentlich stattfindenden Einheit, welche in das reguläre Training integriert wurde, absolvierten die Spieler ein 15-minütiges plyometrisches Training, gefolgt von einer 35 min Sprint- und Agility-Einheit (2-6 s Belastung, 1 min Pause). Beim plyometrischen Training führten die Spieler insgesamt 30-40 Aktionen durch (u.a. Skipping, uni- und bilaterale sowie horizontale und vertikale Sprünge). Das Sprint- und Agility-Protokoll bestand aus 15 kurzen linearen Sprints (zum Teil als Widerstands-Sprints mit Partner ausgeführt) und 15 Sprints mit Richtungswechseln. Nach Ablauf der Trainingsphase wurden signifikante Verbesserungen im 20 m Sprint im Vergleich zum Eingangstest erzielt (3,4 %, $p < 0,05$). Die KG - ebenfalls Fußballer im gleichen Alter, von vergleichbarem Niveau und mit gleichen Trainingsvolumen - konnte sich im Durchschnitt nicht verbessern. Der Gruppenvergleich zeigt signifikante Unterschiede in der Leistungsentwicklung ($p < 0,05$). Aufgrund der hohen durchschnittlichen Verbesserungen in der EG im Vergleich zur KG, kann vermutet werden, dass ein kombiniertes Trainingsprogramm die Wirksamkeit des Trainings erhöht.

Eine Studie von Wong, Chamari & Wisløff (2010) untersuchte die Effekte eines kombinierten „onfield“ Kraft- und Plyo-Trainings bei einer U14 Fußballmannschaft. Zusätzlich zum regulären Teamtraining (2/Woche), absolvierte die EG zweimal wöchentlich ein einstündiges Athletikprogramm auf dem Fußballplatz. Die zwölfwöchige Trainingsphase war wie folgt periodisiert:

- Generelle Adaptionphase (Wochen 1-4): Übungen mit dem eigenen Körpergewicht, wurden in einem Zirkel durchgeführt (z.B. Kniebeugen, Kreuzheben, Ausfallschritte, Liegestützen und Sit-ups). Der Zirkel wurde dreimal durchlaufen, mit jeweils 10 Wdh und 30 s Pause zwischen den Stationen.
- Kraftphase (Wochen 5-8): Die Übungen wurden in Phase 2 mit externem Zusatzgewicht ausgeführt (Medizinbälle 1-3 kg, Powerbags 5-25 kg). Es wurden 3 Sätze à 6 Wdh pro Übung absolviert (Satzpause ca. 2 min).
- Powerphase (Woche 9-12): In der letzten Phase standen Schnellkraft- und plyometrische Übungen auf dem Trainingsplan (z.B. unilaterale Hürdensprünge, Plyo-Liegestützen, SJ mit Zusatzgewicht oder Umsetzen mit den Powerbags). Absolviert wurden 3 Sätze à 5 Wdh (Satzpause ca. 2 min).

Im Vergleich zum Eingangstest verbesserte sich die EG im vertikalen Sprungtest (5,9 %, $ES = 0,95$) sowie im 10 und 30 m Sprint (4,9 %, $ES = 0,57$ bzw. 2,3 %, $ES = 0,94$) signifikant ($p < 0,01$). Die KG konnte sich in keinem dieser Test signifikant verbessern. Der Gruppenvergleich zeigt signifikante Unterschiede zwischen den Veränderungen der EG und der KG bei allen Tests ($p < 0,05$). Daraus kann geschlossen werden, dass ein 12-Wochen-Programm, welches progressiv aufgebaut ist (steigende Intensität, sinkende Wdh-Zahlen), zu signifikanten Verbesserungen der athletischen Leistungsfähigkeit führt.

Faigenbaum et al. (2007) verglichen die Effekte eines sechswöchigen Kombi-Programms aus Kraft- und plyometrischen Training (EG1) oder Kraft- und Beweglichkeitstraining (EG2) bei jugendlichen Sportlern ($13,6 \pm 0,7$ Jahre). Beide Gruppen trainierten zweimal wöchentlich für ca. 90 min. Nach dem Aufwärmprogramm führte die EG 2 statische Stretch-Übungen aus, während EG1 ein plyometrisches Trainingsprotokoll absolvierte (ca. 25 min). Beim plyometrischen Training führten die Spieler verschiedene uni- und bilaterale Sprünge aus und erhielten ausreichende Pausen, um zwischen den Wdh und Sätzen ausreichend zu regenerieren. Anschließend führten beide Gruppen gemeinsam ein Krafttraining durch (ca 50 min). Dieses beinhaltete eine Übung aus dem Gewichtheben (Umsetzen oder Reißen, 1-4 Sätze à 4 Wdh) mit einer Holz- oder ungeladenen Aluminiumstange (7 kg). Nach dem Gewichtheben absolvierten die Probanden verschiedene Übungen mit 3 Sätzen à 10-12 Wdh (u.a. Nacken- und Frontkniebeugen, Bankdrücken, Lat-Pulldown, Wadenheber, Sit-up). Das Gewicht wurde schrittweise erhöht. Zwischen Ein- und Ausgangstest konnte keine der beiden Gruppen ihre Sprintzeit (9,1 m) signifikant steigern (0,2 bzw. 0,3 %). Im Agility-Test verbesserte sich nur die Kraft-Plyo-Gruppe signifikant ($p < 0,05$) und erzielte auch signifikant höhere Verbesserungen als die EG2 (3,8 vs. 0,3 %). Beim vertikalen und horizontalen Sprungtest konnten ebenfalls nur die EG1 signifikante Verbesserungen erzielen (8,1 vs. 3,4 % bzw. 6 vs. 1,1 %), wobei die Veränderungen im horizontalen Sprungtest auch im Gruppenvergleich signifikant verschieden waren. Die Verbesserungen der EG1 in den Sprungtests sind vergleichbar mit den Resultaten aus anderen Studien zum plyometrischen Training (Vgl. 3.4). Dahingegen ist beim Krafttraining ein Zeitraum von 6 Wochen wahrscheinlich zu kurz, um Leistungssteigerungen zu erzielen (Vgl. 3. 3).

Das Ziel einer Studie von Marques, Pereira, Reis & van den Tillaar (2013) war es, die Effekte eines sechswöchigen kombinierten Plyo- und Sprinttrainings bei Nachwuchsfußballern ($13,4 \pm 1,4$ Jahre) zu untersuchen. Eine Gruppe (EG) führte zusätzlich zum regulären Teamtraining (4/Woche) zwei Athletikeinheiten pro Woche durch, während eine zweite Gruppe (KG) nur das Teamtraining absolvierte. Das Trainingsprotokoll dauert ca. 20 min und beinhaltete vier Sprungvarianten (3 Sätze à 8-20 Wdh) und eine Sprintübungen (5 x 20 m). Die EG verbesserte ihre 30 m Sprintzeit signifikant ($p < 0,001$) um 1,7 %, während die KG keine signifikanten Verbesserungen erzielen konnte. Im CMJ steigerte die EG ihre Sprunghöhe um 7,7 % im Vergleich zum Eingangstest, während die Ergebnisse der KG unverändert blieben. Signifikante Gruppen-Zeit-Interaktionseffekte konnten nur im CMJ festgestellt werden ($p < 0,05$). Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit den Ergebnissen von Mathisen (2014), wonach Sprint und Plyometrie gemeinsam in einer Einheit effektiv trainiert werden können. Die im Vergleich zu Mathisen (2014) geringfügigeren Verbesserungen im Sprinttest, könnten auf die kürzere Studien- (6 vs. 8 Wochen) und Trainingsdauer (20 vs. 50 min) zurückzuführen sein.

Die Postaktivierungspotenzierung (PAP) kann zu einer temporären Verbesserung der Schnellkraftfähigkeiten führen. Unter PAP wird die Erhöhung der muskulären Leistungsfähigkeit durch eine vorausgehenden Voraktivierung (Kraftübung) verstanden

(Sale, 2002). Bei einem Komplextraining wird das Krafttraining (zur Voraktivierung) mit einer weiteren Trainingsmethode (Sprint, Plyo, Agility) kombiniert. Das Ziel ist es, die temporären Effekte der PAP in dauerhafte Leistungssteigerungen umzuwandeln. Das Komplextraining kann in einer blockweisen und einer alternierenden Variante ausgeführt werden. Bei der Blockvariante werden zunächst alle Kraftübungen und anschließend die Sprints absolviert. In der alternierenden Ausführungsvariante, wird die Kraftübung immer unmittelbar vor dem Sprint ausgeführt (Lesinski, Muehlbauer, Büsch, & Granacher, 2014). Cavaco et al. (2014) wollten mit ihrer Studie herausfinden, ob ein alternierendes Komplextraining aus Kraft- und Sprinttraining, über einen Zeitraum von sechs Wochen, die Sprint- und Agility-Leistungen verbessert. Außerdem sollte untersucht werden, ob zwei wöchentliche Einheiten effektiver sind, als eine Einheit pro Woche. Dafür wurden Nachwuchsfußballer ($14,1 \pm 0,6$ Jahre) in drei Gruppen aufgeteilt. Die EG absolvierten eine (EG1) bzw. zwei (EG2) wöchentliche Einheiten zusätzlich zum Fußballtraining, während eine KG nur am Fußballtraining teilnahm. Vor dem Eingangstest absolvierten beide EG ein zweiwöchiges Adaptions-training, um die Technik der Kniebeuge zu schulen. Das Trainingsprogramm der EG beinhaltete zwei Stationen:

- Station 1: 3 Sätze à 6 Kniebeugen (85% der 1-RM) plus einen 15 min Sprint.
- Station 2: 3 Sätze à 6 Kniebeugen (85% der 1-RM) plus einen Agility-Run mit Torschuss.

Bei beiden Stationen lag die Satzpause bei 3 min. Das Zusatzgewicht bei der Kniebeuge wurde alle zwei Wochen um 5 % erhöht. In dieser Studie konnten keine signifikante Gruppenunterschiede in der Leistungsentwicklung im 15 m Sprint (EG1 und EG2 = 0,1 %; KG = 0 %) oder im Agility-Test identifiziert werden. Es konnte zwar bei Erwachsenen und bei Nachwuchssportlern bereits gezeigt werden, dass ein Komplextraining wirksam ist, um die Schnelligkeit und Schnellkraft von Sportlern zu verbessern. Aus den Ergebnissen dieser Studie lässt sich aber ableiten, dass die Studiendauer, die Trainingsfrequenz oder das Trainingsvolumen entweder zu gering waren oder dass ein alternierendes Komplextraining aus Krafttraining und Sprints im mid-PHV Alter nicht wirksam ist.

Tab. 7: Pre-Post Interventionsstudien zum Kombi-Training im mid-PHV Alter.

Autoren	Trainingsart	Trainingsvariablen	Einheiten	Sprint test	Verb. (%)
Mathisen (2014)	Agility + Plyo + Sprint (EG1)	15 min Plyo 35 min Sprint/Agility 2-6 s Belastung/60 s Pause	8 x 1 = 8	20 m	3,4*#
	KG	nur Fußballtraining	-		0
	Kraft + Plyo (EG1)	<u>Periodisierung:</u>	12 x 2 = 24	30 m	2,3*#

Wong et al. (2010)		Jeweils 4 Wochen: 1. Basics-Zirkel: 3 Durchgänge à 10 Wdh (30 s Satzpause) 2. Kraftphase: 3 Sätze à 6 Wdh (2 min Satzpause) 3. Plyo/Schnellkraft-Phase: 3 Sätze à 5 Wdh (2 min Satzpause)			
	KG	nur Fußballtraining	-		-1,0
Faigenbaum et al. (2007)	Kraft + Plyo (EG1)	25 min Plyo 50 min Kraft	6 x 2 = 12	9,1 m	0,2
	Kraft + Beweglichkeit (EG2)	25 min Beweglichkeit 50 min Kraft	6 x 2 = 12		0,3
Marques et al. (2013)	Plyo + Sprint (EG1)	Plyo: 3 Sätze à 8-20 Wdh (Pause ca. 60 s) Sprint: 5 x 20 m (Pause ca. 60 s)	6 x 2 = 12	30 m	1,7*
	KG	nur Fußballtraining	-		0,9
Cavaco et al. (2014)	KT (Kraft + Sprint/Agility) (EG1)	3 Sätze à 6 Kniebeugen + 1 Sprint (3 min Satzpause)	6 x 1 = 6	15 m	0,1
	KT (Kraft + Sprint/Agility) (EG2)	3 Sätze à 6 Kniebeugen + 1 Agility-Run (3 min Satzpause)	6 x 2 = 12		0,1
	KG	nur Fußball	-		0

* Signifikante Verbesserung von pre- zu post-Test innerhalb der Gruppe: $p < 0,05$.

Verbesserung signifikant höher als in KG: $p < 0,05$.

Durch den kombinierten Einsatz mehrerer Trainingsmethoden kann die Athletik im mid-PHV Alter effektiv trainiert werden. Generell wird davon ausgegangen, dass kombinierte Trainingsprogramme zu größeren Trainingseffekten führen, als der isolierte Einsatz einer Trainingsmethode (Peitz et al. 2018). Die aktuelle Studienlage im mid-PHV Alter zeigt, dass eine wirksame Periodisierungsstrategie ist, zunächst durch Krafttraining ein Fundament aufzubauen und anschließend plyometrisches- und Schnellkrafttraining durchzuführen. Außerdem kann vermutet werden, dass ein kombiniertes Plyo-, Sprint- und Agility-Training innerhalb einer Einheit effizienter ist, als ein isoliertes Training dieser Trainingsarten. Erste Erkenntnisse deuten darauf hin, dass ein Komplextraining keine wirksame Trainingsmethode im mid-PHV Alter darstellt.

3.7 Problemformulierung und Hypothesen

Für die Fußballpraxis ist es wichtig, auf Athletiktrainingsprogramme zurückgreifen zu können, welche auf ihre Wirksamkeit überprüft wurden. Bisher existiert keine Studie, welche die Wirkungen eines ganzheitlichen Athletikprogramms im mid-PHV Alter, bestehend aus Sprint-, Agility-, Kraft-, Plyometrie- und Balance-Training, untersucht hat. Und das, obwohl bei allen genannten Trainingsmethoden bereits deren Wirksamkeit nachgewiesen wurde. Alle genannten Trainingsarten sind folglich wichtige Bestandteile im Athletiktraining von Nachwuchsfußballern. Es stellt sich jedoch die Frage nach der „optimalen“ Periodisierung: Sollten alle Methoden gleichzeitig innerhalb eines Mikrozyklus trainiert werden oder sollte ein Wechsel der Trainingsziele je Meso- bzw. Makrozyklus stattfinden? Eine Beurteilung der Forschungsfrage anhand der bisher existierenden Untersuchungen ist nur mit Einschränkungen möglich.

In dieser Studie wird auf Basis des aktuellen Forschungsstandes, ein holistisches Athletiktrainingsprogramm entwickelt und evaluiert, bei dem alle Trainingsmethoden gleichzeitig innerhalb eines Mikrozyklus (Woche) zum Einsatz kommen. Das Athletikprogramm ist dabei insbesondere für semi-professionelle Nachwuchsmannschaften konzipiert, z.B. für die NLZ der Landesverbände. Im Vergleich zu den NLZ der Lizenzvereine, sind die zur Verfügung stehenden zeitlichen und infrastrukturellen Kapazitäten i.d.R. begrenzt. Alleine in Bayern sind in den Jahren 2008/2009 bis 2014/2015 insgesamt 733 Talente aus den Stützpunkten und den NLZ's der Landesverbände in die Nachwuchsabteilungen der Profivereine gewechselt, was eine hohe Durchlässigkeit nach oben belegt (BFV, 2015). Um die Unterschiede in der athletischen Ausbildung möglichst gering zu halten, bedarf es der Entwicklung und wissenschaftlichen Evaluierung von Trainingsprogrammen, welche die praktischen Gegebenheiten in Amateurvereinen berücksichtigen.

Fragestellung 1

Wirkt sich ein ganzheitliches Athletiktrainingsprogramm leistungspositiv auf die athletische Leistungsfähigkeit von Nachwuchsfußballern (mid-PHV) aus?

In Hinblick auf die Fragestellung 1 ergeben sich die Hypothesen 1-6:

- Hypothese 1: Die Leistung im Sprint-Test wird sich durch das Athletiktrainingsprogramm bei Nachwuchsfußballern im mid-PHV Alter signifikant verbessern ($p < 0,05$) und auch signifikant deutlicher als bei der Kontrollgruppe ($p < 0,05$).
- Hypothese 2: Die Leistung im CMJ wird sich durch das Athletiktrainingsprogramm bei Nachwuchsfußballern im mid-PHV Alter signifikant verbessern ($p < 0,05$) und auch signifikant deutlicher als bei der Kontrollgruppe ($p < 0,05$).
- Hypothese 3: Die Leistung im SJ wird sich durch das Athletiktrainingsprogramm bei Nachwuchsfußballern im mid-PHV Alter signifikant verbessern ($p < 0,05$) und auch signifikant deutlicher als bei der Kontrollgruppe ($p < 0,05$).

- Hypothese 4: Die Leistung im DJ wird sich durch das Athletiktrainingsprogramm bei Nachwuchsfußballern im mid-PHV Alter signifikant verbessern ($p < 0,05$) und auch signifikant deutlicher als bei der Kontrollgruppe ($p < 0,05$).
- Hypothese 5: Die isometrische Maximalkraft der knie- und hüftstreckenden Muskulatur (Beinpresse) wird sich durch das Athletiktrainingsprogramm bei Nachwuchsfußballern im mid-PHV Alter signifikant steigern ($p < 0,05$) und auch signifikant deutlicher als bei der Kontrollgruppe ($p < 0,05$).

Es gibt Forschungsergebnisse, die zeigen, dass schlechte Gleichgewichtsfähigkeiten das Risiko für Sportverletzungen erhöhen und dass durch ein Balance-Training die Gleichgewichtsfähigkeit verbessert und somit das Verletzungsrisiko gesenkt werden kann. Im Vergleich zu anderen Studien ist in dieser Studie der Trainingsumfang allerdings niedrig und wird zudem von den Probanden als „Hausaufgabe“ durchgeführt.

Fragestellung 2

Wirkt sich ein niedrig-dosiertes Balance-Training, welches selbständig zuhause von den Spielern durchgeführt werden soll, positiv auf die Gleichgewichtsfähigkeit von Nachwuchsfußballern (mid-PHV) aus?

- Hypothese 6: Die Gleichgewichtsfähigkeit wird sich durch das Athletiktrainingsprogramm bei Nachwuchsfußballern im mid-PHV Alter signifikant verbessern ($p < 0,05$) und auch signifikant deutlicher als bei der Kontrollgruppe ($p < 0,05$).

4 Methodik

4.1 Untersuchungsdesign

In dieser Studie wurden die Wirkungen eines speziellen Athletiktrainingsprogramms bei mid-PHV Fußballern untersucht. Um diese Fragestellung zu beantworten, absolvierten zwei Nachwuchsfußballmannschaften bzw. deren Spieler eine Eingangs- und eine Ausgangs-Leistungsdiagnostik mit einem zeitlichen Abstand von 17 Wochen. Alle Testungen fanden am Sportinstitut der Universität Bayreuth statt. Zwischen den beiden Testterminen absolvierte eine Mannschaft das entwickelte Athletiktrainingsprogramm. Die andere Mannschaft (KG) absolvierte nur das reguläre Fußballtraining mit geringen Trainingsumfängen im athletischen Bereich.

4.2 Personenstichprobe

Als Probanden dienten zwei C-Jugendmannschaften der DJK Don Bosco Bamberg: Die C2 (U14) als Experimentalgruppe (EG) und die C1 (U15) als Kontrollgruppe (KG). Die KG spielte während des Studienzeitraums in der Bayernliga-Nord, während die EG in der Kreisliga Bamberg/Bayreuth aktiv war. Alle Probanden wiesen eine mehrjährige Trainingserfahrung im Fußball auf. Beide Mannschaften führten regulär 3 Trainingseinheiten über je 90 min pro Woche durch, wobei die KG in der Vorbereitung häufiger trainierte als die EG. Im Untersuchungszeitraum absolvierte die KG inklusive von Test- und Punktspielen 59 Einheiten und die EG 49 Einheiten. Es wurden nur Probanden in der Analyse berücksichtigt, die an beiden Testterminen teilgenommen hatten. Von beiden Mannschaften nahmen jeweils 12 Spieler sowohl am Eingangs- als auch am Ausgangstest teil. Um in der Analyse berücksichtigt zu werden, wurde zudem festgelegt, dass ein Proband mindestens 70 % aller Einheiten absolviert haben musste. Außerdem musste erfüllt sein, dass sich der Proband während der gesamten Interventionsdauer im mid-PHV Alter befand. Hierfür wurde folgende Zeitspanne festgelegt: $-1,5 \text{ Jahr} < \text{Eintritt PHV („maturity offset“)} < 1,5 \text{ Jahr}$. Durch die Ausschlusskriterien ergab sich ein Ausfall von jeweils 4 Spielern pro Mannschaft. Alle Probanden und deren Eltern wurden über den Inhalt der Studie informiert und unterschrieben eine Einverständniserklärung.

Tab. 8: Daten zu den Probanden und deren Entwicklung zwischen den Eingangs- und Ausgangstest.

Gruppe	Zeitpunkt	EG (U14)	KG (U15)
Chronologisches Alter (Jahre)	ET	13,5 ± 0,2	14,6 ± 0,3
	AT	13,9 ± 0,2	15,0 ± 0,3
Maturity offset (Jahre)	ET	-0,1 ± 0,2	0,4 ± 0,7
	AT	0,3 ± 0,2	0,7 ± 0,8
Spannweite der maturity offset (Jahre)	ET	-0,5 bis 0,1	-0,9 bis 1,1
	AT	-0,2 bis 0,4	-0,8 bis 1,3

Körpergröße (cm)	ET	165,6 ± 2,4	166,6 ± 8,3
	AT	168,3 ± 2,4	169,0 ± 8,6
<i>Veränderungen von ET zu AT in %</i>		<i>1,6 ± 0,4</i>	<i>1,4 ± 0,5</i>
Körpergewicht (kg)	ET	52,5 ± 2,3	50,4 ± 4,9
	AT	55,1 ± 2,4	52,4 ± 5,0
<i>Veränderungen von ET zu AT in %</i>		<i>4,9 ± 1,5</i>	<i>3,9 ± 0,9</i>

4.3 Trainingsprogramm

Die Interventionsphase hatte eine Dauer von 17 Wochen, wobei in einer Woche wegen den Faschingsferien kein Training stattfand, so dass insgesamt 16 Trainingswochen absolviert wurden. Insgesamt standen im Mannschaftstraining ca. 60-70 min pro Woche für das Athletikprogramm zur Verfügung. Zusätzlich bekamen die Spieler eine „Hausaufgabe“ im Umfang von wöchentlich ca. 20-30 min. Das Mannschaftstraining fand regulär am Montag, Dienstag und Freitag statt. Außerdem fand i.d.R. am Wochenende ein Spiel statt. Nach Absprache mit dem Trainerteam wurde folgender organisatorischer Ansatz für Athletiktraining gewählt: Das Montagstraining sollte zur Regeneration genutzt werden. Ein weiteres Ziel war es, die Trainingsinhalte am Montag mit vielen kleinen Spielen Spaßvoll und abwechslungsreich zu gestalten. Deshalb wurde an diesem Trainingstag auf ein Athletiktraining verzichtet. Am Dienstag standen zu Beginn und am Ende des Trainings jeweils 20-30 min für das Athletiktraining zur Verfügung. Vorgabe war jedoch, dass ein Teil des Athletiktrainings in Form eines Komplextrainings umgesetzt wird, welches fußballerische Elemente beinhaltet (z.B. Torschüsse oder Passübungen). Der Vorteil ist, dass sich diese Art des Athletiktrainings wesentlich leichter in das Fußballtraining integrieren lässt, aufgrund der höheren Motivation der Spieler sowie der gleichzeitigen Schulung von fußballerischen Komponenten. Die Gefahr ist allerdings, dass sich bei diesem Trainingsansatz die Zielrichtung und Trainingswirkungen nicht so genau ansteuern lassen wie bei einem isolierten Athletiktraining (Steinhöfer, 2015). In der Einheit am Freitag standen 25-30 min zu Beginn des Trainings zur Verfügung. Auch hier war Vorgabe, dass fußballerische Elemente in das Athletiktraining integriert werden. Die Aufwärmprogramme am Dienstag und am Freitag waren Bestandteile des Athletiktrainings. Auf Basis der genannten organisatorischen Vorgaben und den Erkenntnissen aus Kapitel 3, wurde ein ganzheitliches Athletiktrainingsprogramm entwickelt, das sich aus Kraft-, Balance-, Sprint-, Agility- und plyometrischen Trainingsinhalten zusammensetzt (Tab. 9).

Tab. 9: Wochenplan.

Trainingstag	Trainingsinhalt	Organisation	Zeitungfang
Dienstag - Teil 1	Warm-up + Plyometrie	Komplextraining	25-30 min
Dienstag - Teil 2	Kraft	Zirkeltraining	20 min
Freitag	Warm-up + Schnelligkeit & Agilität	Komplextraining	25-30 min
Individuell	Balance & Kraft	Hausaufgabe 1	10-20 min
Individuell	Balance & Kraft	Hausaufgabe 2	10-20 min

Aufwärmprogramm

Das Aufwärmprogramm umfasste zwei Teile. Im ersten Teil wurde eine Laufschiule absolviert, um das Herz-Kreislauf-System zu aktivieren sowie gleichzeitig an der Sprint- und Agility-Technik der Spieler zu arbeiten. Im zweiten Teil wurden im Wechsel dynamische Dehnübungen („Movement Preps“) (Verstegen und Williams 2014, S. 155–175) und Wand-Übungen zur Schulung der Beschleunigungstechnik ausgeführt (Verstegen & Williams, 2014, S. 197–198). Die Dauer des Aufwärmprogramms betrug ca. 10 min.

Sprint- und Agility-Training

Trainingsarten, bei denen das Ziel ist, die Übungen mit maximaler Geschwindigkeit auszuführen, sollten immer im erholten Zustand absolviert werden (Grosser & Renner, 2007). Deshalb fanden das Sprint- und Agility-Training zu Beginn des Trainings statt. Es wurden 8 bis 14 Wdh über eine Distanz von 15-20 m durchgeführt, mit jeweils mindestens 90 s Pause dazwischen. Dabei wurden fußballerische Elemente in das Training einbezogen. Die Belastung wurde schrittweise erhöht, indem die Übungen zunehmend komplexer und intensiver gestaltet wurden.

In den ersten vier Wochen durchliefen die Spieler einen Parcours, in dem lineare Sprints, Torschüsse, Passspiele und Dribblings verlangt waren. Die fußballerischen Übungen sollten langsam ausgeführt werden und dienten als aktive Pause. Um das Training abwechslungsreich zu gestalten, wurde der Parcours Woche für Woche leicht verändert. Ein Torwart hütete das Tor, der andere durchlief den Parcours. Nach einer Runde wechselten die Torhüter jeweils.

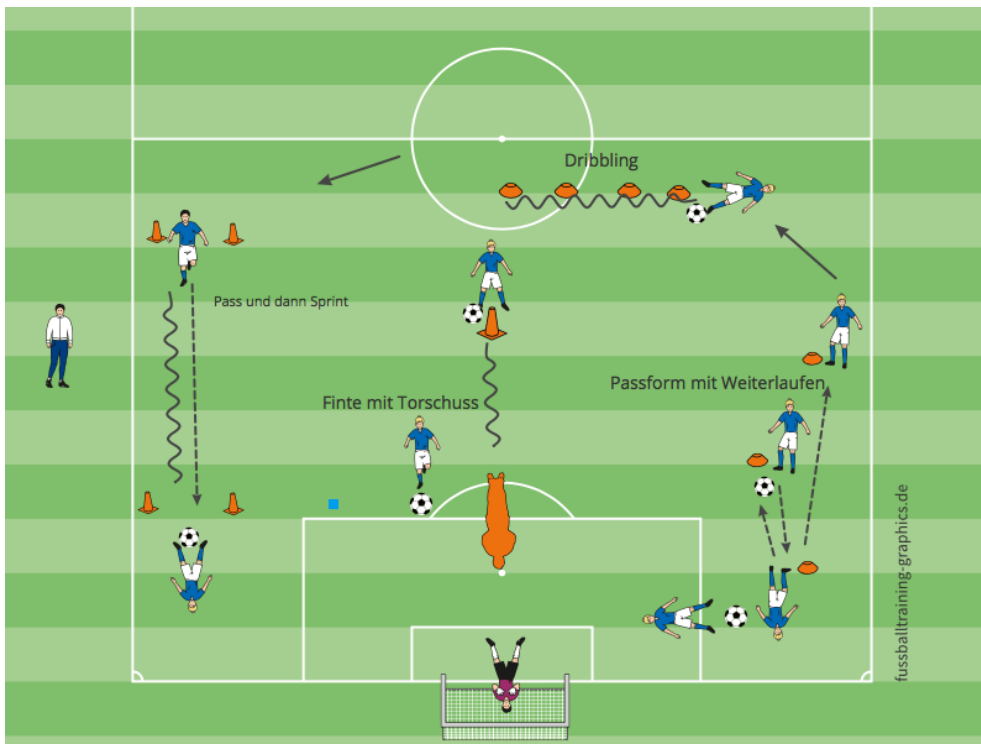


Abb. 8: Beispiel für das Sprint- und Agility-Training in den Wochen 1-4

In den Wochen 5 bis 8 wurden Sprints mit kurzen Richtungswechseln durchgeführt. Zwischen den Wdh durchliefen die Spieler zur aktiven Pause einen Dribbling-Parcours mit Passtoren. Die nachfolgende Abb. zeigt beispielhaft einen Trainingsaufbau. Die Sprints wurden im Wechsel mit Ball und ohne Ball durchgeführt.

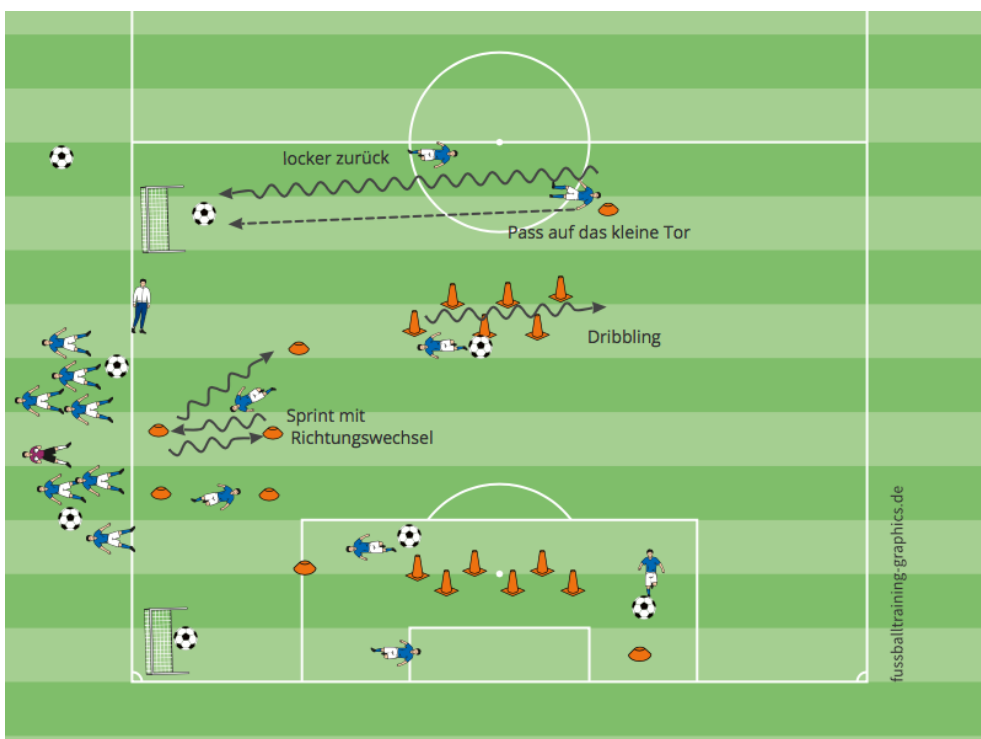


Abb. 9: Beispiel für das Sprint- und Agility-Training in den Wochen 5-8

Um die Intensität weiter zu erhöhen, wurden die Sprints in den Wochen 9 bis 12 in Wettkampfform durchgeführt. Dafür wurden zwei Mannschaften gebildet. Bei jeder Wdh traten zwei Spieler gegeneinander an, mit dem Ziel den Ball zuerst zu erlaufen. Als Anschlussaktion musste der Spieler, der zuerst am Ball war, versuchen ein Tor zu erzielen. Der Gegenspieler hatte noch die Chance den Abschluss durch ein Defensivtackling zu verhindern. Fand bis ca. 3 s nach Ballmitnahme kein Torabschluss statt, wurde die Wdh abgebrochen. Um auch die Handlungsschnelligkeit zu schulen, waren die Laufwege zum Teil nicht vor dem Start bekannt. In diesem Fall mussten die Spieler spontan auf ein visuelles und/oder akustisches Signal reagieren (vgl. Abb. 10). Ein Torwart nahm am Wettkampf teil, während der andere das Tor hütete.

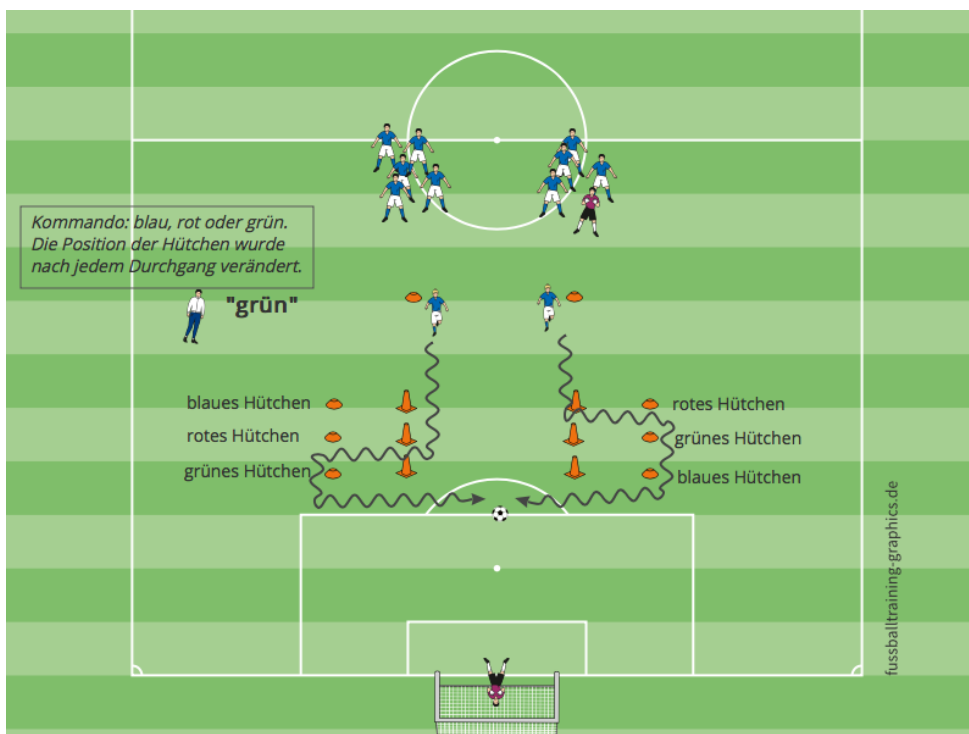


Abb. 10: Beispiel für das Sprint- und Agility-Training in den Wochen 9-12

In den letzten vier Wochen standen Widerstands-Sprints auf dem Trainingsplan. Diese Trainingsform wurde als Partner-Übung mit einem Gummi-Widerstandsband durchgeführt. Die Spieler wurden aufgefordert, das Lauftempo ihres Partners beim Sprinten, um ca. 20 % abzubremsen.



Abb. 11: Partner-Widerstandssprint mit Gummiband (Woche 13-16)

Plyometrisches Training

Das plyometrische Training fand direkt nach dem Aufwärmen statt. In einer Einheit absolvierten die Spieler 3 Übungen mit 2 Sätzen à 7 Wdh. Die Pausen zwischen den Sätzen betrugen jeweils mind. 90 s. Der vorgegebene Zeitrahmen ließ keine Belastungsprogression durch Steigerung der Bodenkontakte zu (42). Die Intensität wurde jedoch durch die Übungsauswahl schrittweise gesteigert.

In den ersten 5 Wochen wurde der Trainingsschwerpunkt auf die Technik beim Absprung und beim Landen gelegt. Es wurden Kniebeugen, leichte Squat Jumps und Tiefsprünge von einer Bierbank mit 3-sekündigen Halten in der Kniebeugeposition absolviert. In den Pausen wurden lockere Dribblings oder Passübungen durchgeführt (vgl. Abb. 12).

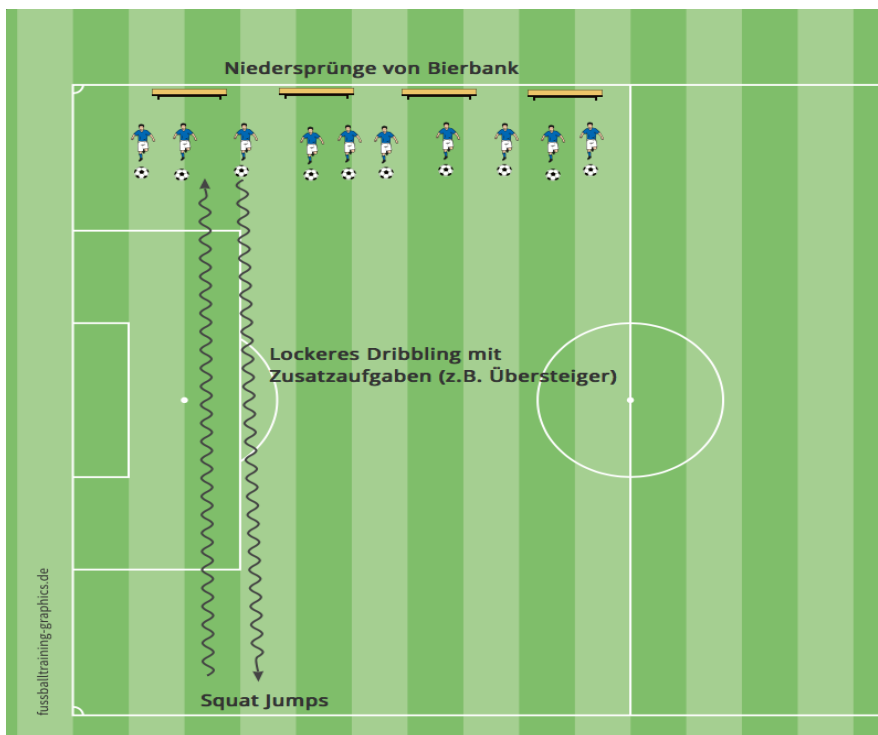


Abb. 12: Beispiel für das plyometrische Training in den Wochen 1-5

In den Wochen 6 bis 11 absolvierten die Spieler beidbeinige horizontale und vertikale Sprünge ohne DVZ (SJ, Standweitsprung), im kurzen DVZ („Pogo Jumps“) und im langen DVZ (CMJ).

Die letzten 5 Wochen wurde die Belastung weiter erhöht, indem komplexere Übungen zum Einsatz kamen. Im kurzen DVZ wurden DJ von einer Bierbank durchgeführt. Als Sprungform ohne DVZ standen einbeinige Hürdensprünge mit 3-sekündigen Ausbalancieren auf dem Trainingsplan. Im langen DVZ wurden ebenfalls einbeinige Hürdensprünge ausgeführt, allerdings fortlaufend ohne Ausbalancieren.

Krafttraining

Für das Krafttraining wurde folgendes Periodisierungsschema gewählt: Generelle Adaptions- und Technikphase (Wochen 1-5), Kraftphase (Wochen 6-12) und Schnellkraftphase (Wochen 13-16). In allen Phasen wurde das Krafttraining in Form eines Zirkeltrainings durchgeführt.

In der ersten Phase wurden alle Übungen mit dem eigenen Körpergewicht absolviert. 3-5 Spieler waren jeweils an einer Zirkel-Station aktiv. An jeder Station wurden 4 Sätze direkt hintereinander absolviert. Die Belastungszeit je Satz betrug 30 s mit 15 s Pause dazwischen. Für den Stationswechsel betrug die Pause 40 s. Die Spieler wurden aufgefordert alle Übungen langsam und kontrolliert auszuführen. Bei einer fehlerhaften Ausführung wurden die Spieler umgehend korrigiert. Innerhalb der 30-sekündigen Belastungszeit konnten die Spieler ca. 12 bis 14 vollständige Wdh ausführen. Bei den unilateralen Übungen (Ausfallschritt, Seitstütz, Beckenlift) wurde die Körperseite je Satz getauscht und bei den bilateralen Übungen (Liegestütz und Bo-

denrudern, Sit-up und Fallschirmspringer) wurde je Satz zwischen zwei Übungen gewechselt. Auf einen Satz einer Übung folgte im Anschluss somit ein Satz einer Übung, die den Antagonisten oder die andere Körperseite trainiert. Dadurch betrug die Pause zwischen zwei Sätzen 1 min. Insgesamt absolvierten die Spieler in Phase 1 somit pro Übung bzw. Körperseite 2 Sätze à 12-14 Wdh.

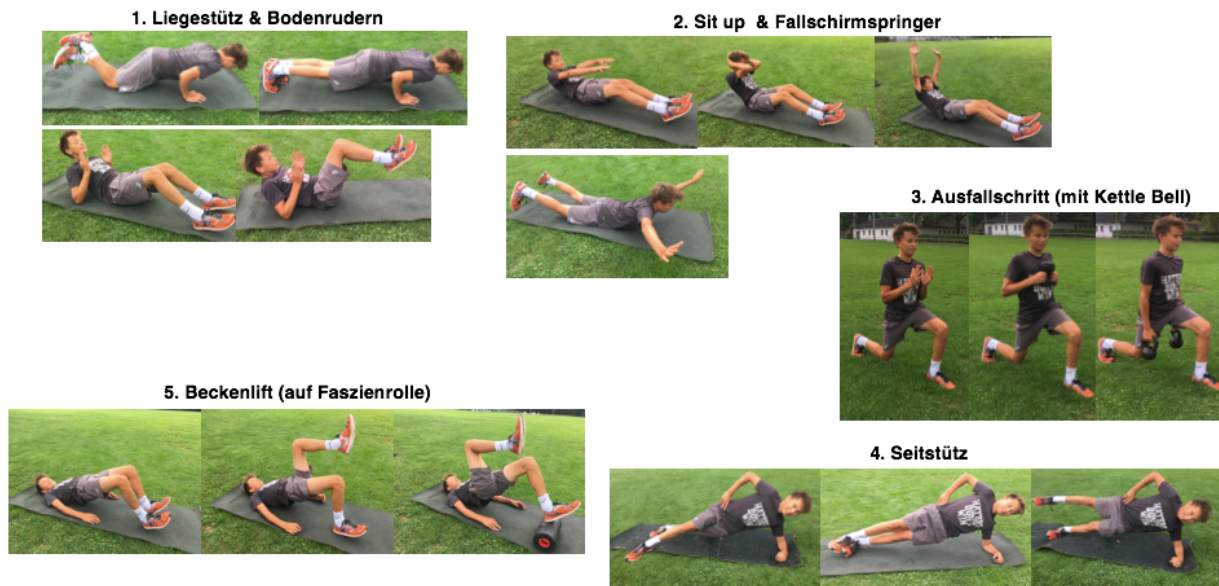


Abb. 13: Kraftzirkel in den Phasen 1 und 2

In der Kraftphase wurde die Intensität der Übungen erhöht, indem Zusatzgewichte (Kettle Bells) eingesetzt wurden oder die Übungsausführung erschwert wurde, z.B. durch den Einsatz einer instabilen Unterlage (Faszienrolle) (vgl. Abb. 13).⁸ Die Belastungen wurden individuell und progressiv gesteuert. In dieser Phase wurden je Station 6 Sätze mit 25 s Belastung und 20 s Pause durchgeführt. Bei den dynamischen Übungen wurden die Spieler angewiesen, die exzentrische Bewegungsphase langsam und kontrolliert auszuführen (ca. 2 s), ca. 1 s in der Umkehrposition zu halten, um dann die konzentrische Phase explosiv auszuführen. Während eines Satzes schafften es die Spieler ca. 8 Wiederholungen durchzuführen. Insgesamt absolvierten die Spieler in dieser Phase somit pro Übung bzw. Körperseite 3 Sätze à 8 Wdh mit einer Satzpause von 65 s.

Die letzten 4 Wochen wurde der Fokus auf das Schnellkrafttraining der unteren Extremitäten gelegt. Das Krafttraining fand in dieser Phase, aufgrund von zwei Ligaspielen unter der Woche, allerdings nur zweimal statt. Als Hauptübung wurden schnellkräftige Kniebeugen mit Wurf eines 5 kg-Slam Balls durchgeführt. Daneben wurden jeweils 3 Übungen absolviert, die bereits aus den vorhergehenden Phasen bekannt waren (Ausfallschritt und zwei Oberkörper-Übungen). Je Satz trainierten 4-5 Spieler für 30 s an einer Station. Nach einem Satz wurde direkt die Station gewechselt (Pause für Wechsel 20 s). Es wurden insgesamt 6 Zirkel-Runden absolviert, ohne

⁸ Die Abb. 13 zeigt die unterschiedlichen Ausführungsvarianten der Übungen von leicht (links) bis schwer (rechts).

extra Pause zwischen den Runden. Bei der Slam Ball-Kniebeuge wurden die Spieler angewiesen, das Hüft- und Kniegelenk explosiv zu strecken und erst den letzten Bewegungsimpuls durch die Brust-, Schulter- und Armmuskulatur zu geben („Die Hauptimpuls kommt aus den Beinen!“). In dieser Phase wurden bei den Beinübungen nur 6 Wdh pro Satz absolviert. Die Übungen für den Oberkörper wurden den Zeitintervallen entsprechend für 30 s trainiert (ca. 14-16 Wdh).



Abb. 14: Schnellkräftige Kniebeuge mit Slam Ball-Wurf (Phase 3)

„Hausaufgabe“

Als „Hausaufgabe“ wurden zwei Trainingsprotokolle aufgegeben. Beide Protokolle sollten jeweils einmal pro Woche absolviert werden. In den ersten 6 Wochen bestand ein Protokoll aus jeweils zwei Balance-Übungen. Die Spieler sollten je Übung 4 Sätze absolvieren, mit einer Übungszeit von 20 s pro Fuß. Zwischen den Sätzen betrug die vorgegebene Pause 40 s und zwischen den Übungen zwei Minuten.

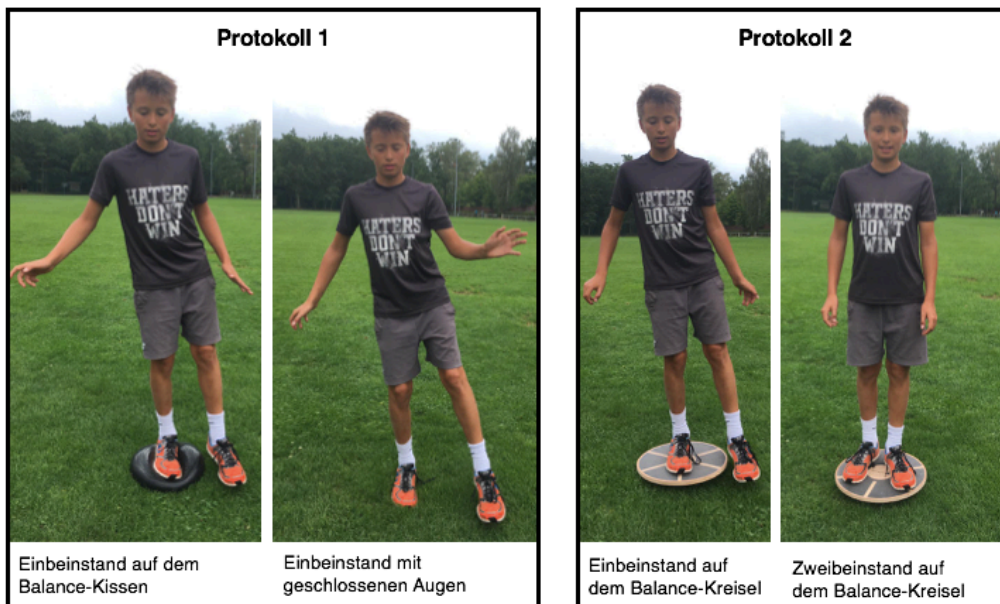


Abb. 15: Hausaufgabe in den Wochen 1-6

In den Wochen 7-16 wurde die Schwierigkeit der Balance-Übungen erhöht. Zudem wurde das Programm durch „Bodyweight“-Kraftübungen (Bodenrudern, Liegestütz, Beckenlift, Sit-ups) ergänzt. Ein Protokoll bestand aus jeweils zwei Balance-Übungen und zwei Kraftübungen. Die Protokolle waren in Zirkelform auszuführen (Balance-Übung pro Fuß 20 s, Kraftübung 15 Wdh, Balance-Übung pro Fuß 20 s, Kraftübung 15 Wdh). Zwischen den Übungen sollte eine Pause von 30 s und zwischen den Runden eine Pause von 2 min eingelegt werden. Insgesamt waren 4 Runden zu absolvieren.

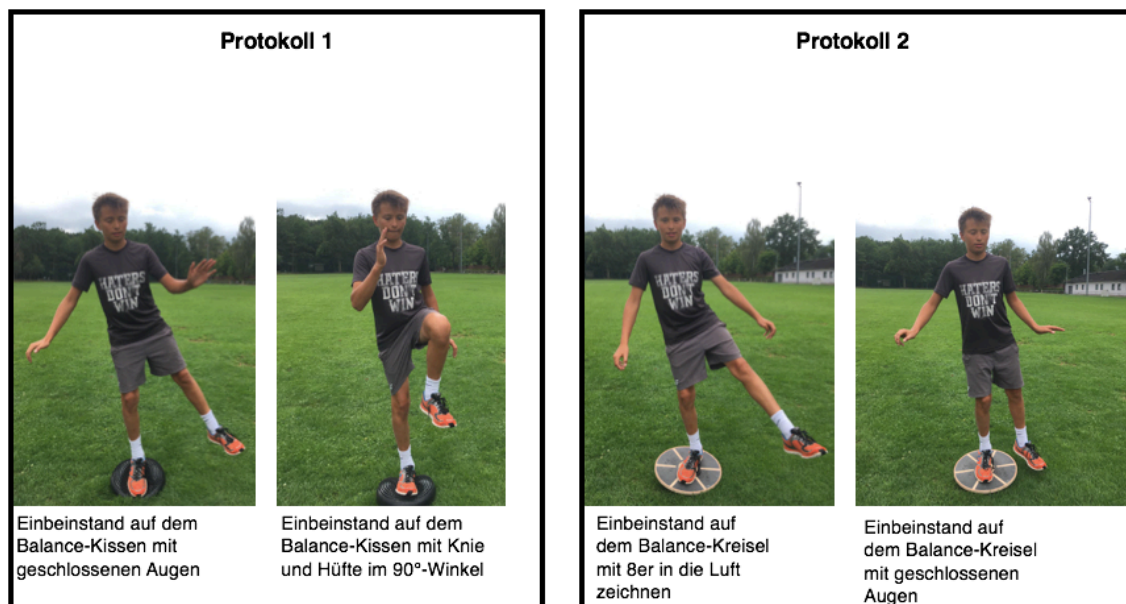


Abb. 16: Balance-Übungen der Hausaufgabe in den Wochen 7-16

4.4 Untersuchungsverfahren

Biologischer Reifegrad

Es existieren verschiedene Verfahren zur Bestimmung des biologischen Reifegrades, wobei die Skelettalterbestimmung als die genaueste Methode gilt. Trotzdem sprechen gesundheitliche Belastungen durch die Strahlung sowie ökonomische Gründe gegen einen Einsatz dieser Methode. Praktikabler lässt sich der biologische Reifegrad durch anthropometrische Messtechniken ermitteln. Liegen keine Längsschnittmessergebnisse der Körpergröße in regelmäßigen Abständen vor (mind. alle 3 Monate), kann durch die geschlechtsspezifischen Gleichungen von Mirwald et al. (2002) die Zeit geschätzt werden, die ein Kind vom Eintreten der PHV entfernt ist („maturity offset“). Die Gleichungen basieren auf der Erkenntnis, dass große Knochen (Beine) früher einen Wachstumsschub erfahren als kleine Knochen (Rumpf), wodurch es zu einer temporären Verschiebung der Körperproportionen kommt. Das Institut für angewandte Trainingswissenschaften (IAT) hat ein Programm entwickelt (BioFinal; Version 3,4), mit dem sich die maturity offset auf Basis der Formeln von Mirwald et al. (2002) berechnen lassen. Zur Berechnung müssen folgende Werte bekannt sein: Körperhöhe (stehend und sitzend), Körpermasse und Geburtsdatum. Für die Messungen der Körperhöhe wurde ein Stadiometer genutzt (Seca 213, Hamburg). Die Körpergröße (stehend) wurde in aufrechter Haltung und ohne Schuhe gemessen (Distanz zwischen Kopfscheitel und Boden). Der Kopf musste horizontal und ohne Kontakt des Hinterkopfes zum Stadiometer ausgerichtet sein, so dass der obere Rand des Gehörgangs und der tiefste Punkt der Augenhöhle auf einer Ebene lagen (IAT, o. J.; Universität Potsdam, o. J.).

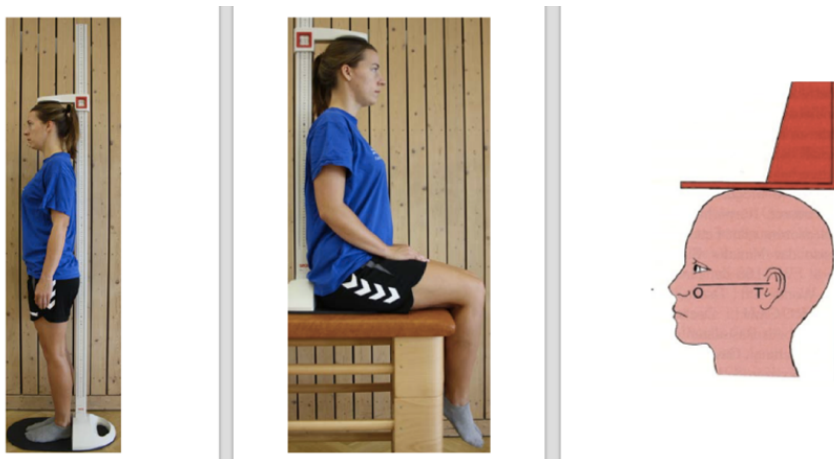


Abb. 17: Messung der Körperhöhe im Stand und sitzend (Universität Potsdam, o. J.) mit korrekter Kopfhaltung (Raschka, 2006, S. 118)

Weitere Kriterien bei der Testdurchführung waren (IAT, o. J.; Universität Potsdam, o. J.):

- Der Proband musste in aufrechter Haltung mit Rücken, Gesäß und Fersen direkt am Stadiometer stehen, während die Füße geschlossen waren und durchgehend Bodenkontakt hatten.

- Der Proband wurde angewiesen, tief einzuatmen und während der Messung die Luft anzuhalten.
- Ein auf dem Messgerät bewegbares Kopfbrett wurde vom Versuchsleiter gegen den Scheitel des Kopfes geführt, so dass die Kopfbeharrung keinen Einfluss auf das Testergebnis hatte.
- Der Versuchsleiter stand bei der Messung seitlich zum Probanden.
- Die Genauigkeit der Messung erfolgte auf 0,1 cm.
- Es wurde eine zweite Messung durchgeführt, um das Messergebnis zu bestätigen. Unterschieden sich beide Messungen um weniger als 0,4 cm, so wurde der Mittelwert aus beide Messungen ermittelt. Betrug der Unterschied mehr als 0,4 cm, so wurde eine dritte Messung durchgeführt und alle drei Messwerte zum Endergebnis gemittelt.

Die Messung der Körperhöhe (sitzend) erfolgte in aufrechter Sitzposition auf einem Sprungkasten (Distanz zwischen dem Kopfscheitel und der Sitzoberfläche). Es galten die gleichen Kriterien wie bei der Messung der Körperhöhe im Stand, mit folgenden Besonderheiten (IAT, o. J.; Universität Potsdam, o. J.):

- Der Proband musste in aufrechter Haltung sitzen, mit dem Rücken am Messstab (nicht angelehnt!).
- Hüft- und Kniegelenk waren beide 90 Grad gebeugt, wobei die Oberschenkel geschlossen waren und auf der Sitzfläche aufliegen mussten. Die Füße durften keinen Kontakt zum Boden haben.
- Die Hände lagen locker auf den Oberschenkeln.

Für die Messung der Körpermasse wurde eine Personenwaage (Seca 719, Hamburg) genutzt. Die Körpermasse wurde in minimaler Bekleidung (Socken, kurze Sporthose und T-Shirt) gemessen. Das Gewicht des Probanden sollte gleichmäßig auf beiden Füßen verteilt sein. Die Genauigkeit der Messung erfolgte auf 0,1 kg. Durch eine Wiederholungsmessung wurde die erste Messung bestätigt. Bestand ein Unterschied von weniger als 0,4 kg, wurden beide Messergebnisse zum Endergebnis gemittelt. Lagen die Messergebnisse mehr als 0,4 kg auseinander, so wurde eine dritte Messung durchgeführt und der Mittelwert aus allen drei Messungen ergab das Endergebnis (IAT, o. J.).

Testung Balance

Die Messung der Gleichgewichtsfähigkeit erfolgte auf einem Posturomed (Haider Bioswing, Pullenreuth inkl. Messsystem Microswing 5.0) mittels dem vom Hersteller entworfenen Posturokybernetiktest (PKT). An seinen vier Ecken ist die Standplatte des Posturomeds (60 cm x 60 cm) an speziellen Dämpfungselementen aufgehängt. Aufgabe des Probanden war es, die Platte im Einbeinstand möglichst ruhig zu halten. Das physikalische Wirkungsprinzip beruht darauf, dass durch Ausgleichbewegungen auf der Standfläche zyklisch angeregte, kontrolliert gedämpfte Schwingungen in ei-

nem Frequenzbereich von 1,0 bis 4,2 Hz entstehen (Otte, 2014). Das Schwingverhalten kann gesteigert werden und besteht aus drei Schwierigkeitsstufen. Dies wird ermöglicht, indem das Schwingwerk des Posturomeds zwei Schwingkreise beinhaltet. Der zweite Schwingkreis kann komplett verriegelt, teilweise geöffnet (ein Riegel offen) oder komplett entriegelt sein (beide Riegel offen). Durch das Öffnen eines Schwingkreises nimmt die Schwingamplitude zu. Je größer die Schwingamplitude, desto größer ist die mögliche Amplitude des „Center of Pressure“ (COP) und desto schwieriger ist die Stabilisation des Körpers auf der Standfläche. Beim Messsystem Microswing handelt es sich um sensible Beschleunigungssensoren und der dazugehörigen Aufnahme- und Verarbeitungssoftware. Die Beschleunigungssensoren erfassen horizontale Bewegungen der Standplattform in der frontalen (x-Achse, links-rechts) und der sagittalen (y-Achse, vorne-hinten) Ebene mit einer Abtastrate von 100 Hz (Otte, 2014). Mittels der PC-Software wird die zurückgelegte Wegstrecke der Standplatte ermittelt (Testdauer 10 Sekunden). Im PKT-Programm wurde der Zoomfaktor 4 ausgewählt. Als Schaltwelle für den automatischen Messstart wurden 20% eingestellt. Die Bewertung des PKT erfolgt über eine Punkteskala (0 bis 1.000 Punkte) mit entsprechender Benotung („sehr gut“ bis ungenügend“). Abb. 18 zeigt das Auswertungsschema des PKT.

Das Auswertungsschema:

0000-0199 Punkte	(> 95 - 80mm Wegstrecke)	ungenügend
0200-0399 Punkte	(80 - 65mm Wegstrecke)	mangelhaft
0400-0599 Punkte	(65 - 50mm Wegstrecke)	befriedigend
0600-0799 Punkte	(50 - 35mm Wegstrecke)	gut
0800-1000 Punkte	(35 - 0mm Wegstrecke)	sehr gut

Abb. 18: Auswertungsschema des PKT (Otte, 2014)

Beim Stand auf einer wackeligen Unterlage (hier Posturomed) kommt es zunächst zu vergleichsweise großen Ausgleichsbewegungen, bis nach ein paar Minuten ein Habituationseffekt einsetzt (Oude Nijhuis et al., 2009). Deshalb absolvierten alle Probanden zunächst ein dreiminütiges Eingewöhnungstraining (90 s pro Fuß). Nachfolgend wird die Durchführung des PKT Schritt für Schritt beschrieben (Otte, o. J.):

1. Der Proband sollte sich mit Socken (ohne Schuhe) vor das Posturomed stellen. Dabei war er angewiesen, seine Füße direkt hinter die entsprechende Körperlängenmarkierung, auf der Markierungsmatte abzusetzen.
2. Nach der Aufforderung des Testleiters, stellte der Proband mit einem zügigen Schritt seinen rechten Fuß in das Zentrum der Plattform. Das Spielbein ging dabei an die Knieinnenseite des Standbeins und sollte dort locker gehalten werden. Beim Standbein sollten Hüft- und Kniegelenk weitgehend gestreckt sein. Der Einbeinstand wurde 10 s gehalten. Nach Ende der Messaufzeichnungen erhielt der

Proband ein Kommando vom Testleiter, worauf hin er zurück auf die Markierungsfläche ging. Danach wurde der Vorgang mit dem anderen Fuß wiederholt. Es wurden jeweils drei korrekte Messungen pro Fuß durchgeführt. Gewertet wurde jeweils nur das beste Ergebnis.

3. Der Proband sollte nicht durch äußere Einflüsse abgelenkt werden. Er durfte während dem Versuch nicht sprechen und sein Blick musste geradeaus auf eine spezielle Wandmarkierung gerichtet sein, um eine größtmögliche Standardisierung zu gewährleisten (Abstand Posturomed zur Wand = 1 m).
4. Die Messdauer beim PKT beträgt zehn Sekunden und startete automatisch nach dem Betreten der Plattform (Auto-Start).
5. Die folgenden Sachverhalte führten zu einem Fehlversuch: Berührung des Geländers während des Versuches, keine zentrale Positionierung des Standfußes, Absetzen des Spielbeins, Absenkung des Körperschwerpunktes oder der Fuß des Spielbeins wurde nicht locker am Innenknie des Standbeins gehalten (leichte Korrekturbewegungen wurden toleriert). Fehlversuche wurden wiederholt.



Abb. 19: Durchführung des PKT (Otte, o. J.)

Aus den beiden besten Versuchen je Fuß wurde das Endergebnis durch Bildung des Mittelwerts berechnet.

Sprungdiagnostik

Die Testbatterie der Sprungdiagnostik bestand aus dem Squat Jump, dem Counter-Movement-Jump und dem Drop Jump aus 32 cm Höhe. Alle Messungen erfolgten mittels einer Kontaktmatte (Sport-Voss, Doberschütz inkl. Messsoftware NTG) nach dem Flugzeitverfahren. Um mögliche Lerneffekte zwischen dem Ein- und Ausgangstest zu minimieren, fand fünf Tage vor dem Eingangstest ein Eingewöhnungstraining statt. Dabei wurden alle drei Sprungformen ausführlich demonstriert und trainiert. Da die Sprungdiagnostik direkt nach den Sprinttest stattfand, wurde kein weiteres Aufwärmprogramm durchgeführt. Bei jeder Sprungform wurde den Probanden drei Test-

versuche gewährt. Nach einer Pause von mindestens 3 min starteten dann die Wertungsversuche. Bei allen Sprungformen mussten die Hände während des Sprungs an der Hüfte fixiert sein. Beim SJ wurde aus der Hockstellung bei etwa 90 Grad Kniegelenkwinkel und einer möglichst aufrechten Oberkörperposition so hoch wie möglich gesprungen. Im Gegensatz zum SJ startet der CMJ im aufrechten Stand. Mit einer eingeleiteten Gegenbewegung bis zu einem Kniegelenkwinkel von ca. 90 Grad versuchten die Probanden auch hier so hoch wie möglich zu springen. Der DJ wurde von einem Kasten (32 cm Höhe) ausgeführt. Durch das lockere Vorschwingen eines Beines (diese Beinseite galt es über den ganzen Testverlauf beizubehalten) löste sich der Spieler vom Kasten und sprang nach einem maximal kurzen Bodenkontakt (Prellsprung) so hoch wie möglich. Die Berechnung des Leistungsindex (LI) erfolgte über die Formel (Frick, 1993): Sprunghöhe (cm) dividiert durch die Bodenkontaktzeit (s). Jeder Proband hatte fünf Versuche je Sprungform. Zwischen den einzelnen Sprungformen wurde eine Pause von circa 5 min eingehalten. Um Ausreißer möglichst auszuschließen, wurde der jeweils beste und der schlechteste Wert gestrichen und aus den übrigen 3 Werten das arithmetische Mittel gebildet.

Testung Schnelligkeit

Die Testung der Schnelligkeit erfolgte nach den Vorgaben der DFB-Stützpunkt-Leistungsdiagnostik (DFB, o. J.-b). Für die Zeitmessungen wurden Lichtschranken eingesetzt (Brower Timing Systems, Draper, USA). Vor der Testung fand ein standardisiertes Aufwärmen statt. Dies ist wichtig, da die Gestaltung des Warm-ups einen Einfluss auf schnellkräftige Leistungen haben kann. Zum Beispiel könnte sich statisches Dehnen negativ auf die Leistungsfähigkeit auswirken, während schnellkräftige Bewegungen oder Bewegungen mit hohen Krafteinsätzen sich eher positiv auszuwirken scheinen (Sale, 2002). Alle Sprints fanden in der Sporthalle statt und wurden über eine Strecke von 20 m durchgeführt, wobei nach 10 m eine Zwischenzeit genommen wurde. Eine 5 m lange Auslaufzone sollte die Spieler dazu veranlassen, den Sprint nicht vorzeitig abzubremesen. Der Start erfolgte ohne Startsignal nach eigenem Ermessen, wodurch der Einfluss der Reaktionszeit ausgeschaltet war. Gestartet wurde aus einer Schrittstellung, der vordere Fuß befand sich dabei genau an der Startlinie. Die Auswahl des vorderen Fußes war den Spielern freigestellt, wurde beim ersten Test erfasst und musste bei allen weiteren Sprints (Eingangs- und Ausgangstest) beibehalten werden. Jeder Spieler hatte drei Versuche für den Sprint, mit mindestens 3 Minuten Pause dazwischen. Zur Auswertung wurde der Mittelwert aus den beiden besten Versuchen herangezogen.

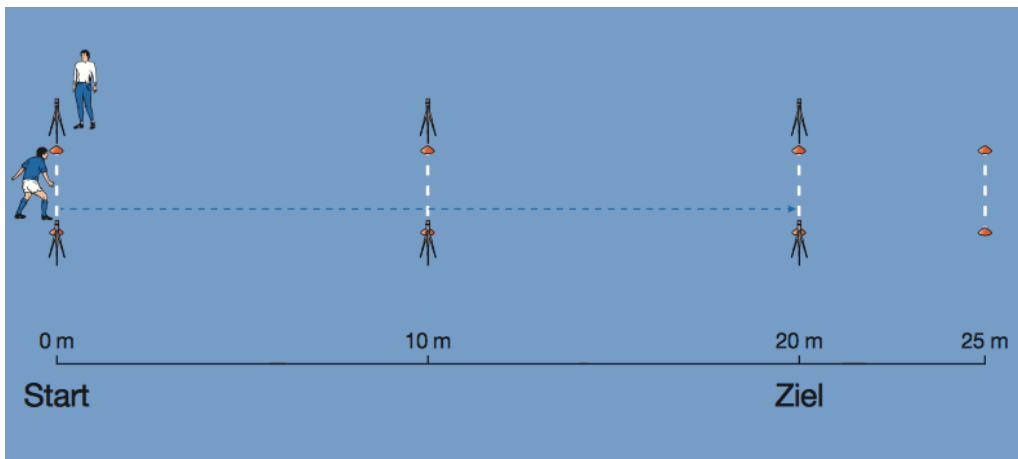


Abb. 20: Test Schnelligkeit (DFB, o. J.-b)

Testung Maximalkraft

Die Messung der maximalen isometrischen Kraft der knie- und hüftstreckenden Muskulatur erfolgte in einer Beinpresse (Metallbau GmbH, Rinteln), während beide Füße an einer Kraftmessplatte (Kistler Type 9286AA, Winterthur, Schweiz) platziert sind. Zur Datenerfassung und -auswertung wurde die Software DASYLab (Version 12.0, Austin, Texas, USA) genutzt.



Abb. 21: Beinpresse mit Kraftmessplatte

Es wurden die vertikalen Bodenreaktionskräfte (F_z) bei 1000 Hz gemessen. Um eine isometrische Kontraktion zu erreichen, wurde der Widerstand der Kraftmaschine auf 250 kg eingestellt. Da bei der Beinpresse zunächst eine kurze Startbewegung (Extension) ohne großen Widerstand möglich ist, mussten die Probanden bei einer Kraft von max. 500 N bis zum Anschlag langsam „andrücken“. Erst danach begann die Messung durch ein Startsignal. Während der gesamten Messung musste der Proband Kontakt mit dem Sitz (Gesäß) bzw. der Sitzlehne (Rücken, Schultern, Hinter-

kopf) haben. In der Ausgangsposition waren Knie- und Hüftgelenk um 90 Grad gebeugt und das Sprunggelenk befand sich mit dem Kniegelenk auf einer horizontalen Ebene. Die Beinpresse ist in dreifacher Weise verstellbar (Schulterpolster: 1-9; Rückenlehne: 1-9; Sitz vor-zurück: 1-10). Für alle Probanden wurde die Rückenlehne auf Stufe 6 und das Schulterpolster auf Stufe 8 eingestellt. Die Sitzposition wurde individuell geändert, damit alle Probanden die vorgeschriebene Ausgangsposition einnehmen konnten. Die Einstellungen wurden notiert und in allen weiteren Messungen beibehalten. Um den Oberkörper zu stabilisieren, mussten sich die Probanden an den Handgriffen festhalten. Als Aufwärmprogramm absolvierten alle Probanden drei submaximale Kontraktionen über 4 s. Dabei wurden beim Eingangstest die individuellen Einstellungen an der Beinpresse vorgenommen und notiert. Direkt im Anschluss erfolgten die 2 Wertungsversuche. Nach dem „Andrücken“ sollten die Probanden ihre Beine so kraftvoll wie möglich für fünf Sekunden zu strecken versuchen. Der maximal erreichte Kraftwert pro Versuch (Fz_{max}) wurde notiert. Gewertet wurde der jeweils beste Versuch.

4.5 Statistische Datenverarbeitung

Zur Auswertung der Daten wurden die Programme SPSS 23 und Excel 16.27 verwendet. Das Signifikanzniveau wurde für alle statistischen Verfahren auf $p < 0,05$ festgelegt. Bei der Interpretation der Effektstärken (d) gilt zu beachten, dass Effektstärken $> 0,8$ als groß eingestuft werden, während Effektstärken von $0,8-0,5$ als moderat und Effektstärken zwischen $0,5$ und $0,2$ als klein bezeichnet werden (Cohen, 1988). Alle Daten sind als Mittelwerte \pm Standardabweichungen dargestellt.

Test-Retest-Korrelation der Testverfahren

Die Test-Retest-Korrelation wurde mithilfe des Produkt-Moment Korrelationskoeffizienten nach Pearson berechnet. Eine Prüfung der Linearität erfolgte durch Darstellung eines Kreuzdiagramms. Eine Überprüfung von Ausreißern wurde vorgenommen, indem von jedem Wert die Anzahl der Standardabweichung berechnet wurde, die er vom Mittelwert entfernt liegt. Jeder Wert, der mehr als 3 Standardabweichungen vom Mittelwert entfernt liegt, wird als „extremer Ausreißer“ angesehen und macht weitere Maßnahmen erforderlich (Hemmerich, o. J.). Die Normalverteilung wurde mit dem Shapiro-Wilk Test geprüft. Zur Berechnung des kritischen Korrelationskoeffizienten wurde vorab die Z-Transformation nach Fisher durchgeführt. Der Erwartungswert und die Varianz der Z-transformierten Korrelationskoeffizienten lauten:

$$Z = 0,5 * \ln\left(\frac{1+r}{1-r}\right) \text{ und } Var(x) = \frac{1}{n-3}$$

Danach erfolgte eine Standardnormierung der errechneten Fishers Z-Werte:

$$z = \frac{Z-0}{\sqrt{\frac{1}{n-3}}}$$

Für die Berechnung wurden jeweils die ersten beiden Wertungsversuche vom Eingangstest herangezogen ($n = 33$). Zur Beurteilung des Zusammenhangs wurde folgende Klassifikation angewandt: $0 =$ keine Korrelation, $0 < |r| < 0,2 =$ sehr schwache Korrelation, $0,2 \leq |r| < 0,4 =$ schwache Korrelation, $0,4 \leq |r| < 0,6 =$ mittlere Korrelation, $0,6 \leq |r| < 0,8 =$ starke Korrelation, $0,8 \leq |r| < 1,0 =$ sehr starke Korrelation und $1 =$ perfekte Korrelation (Bortz & Döring, 2015).

Analyse von Zusammenhängen

Die Analyse von Zusammenhängen erfolgte durch die Berechnung des Produkt-Moment Korrelationskoeffizienten nach Pearson (Vgl. Test-Retest-Korrelation der Testverfahren). Zur Berechnung wurden die Ergebnisse vom Ausgangstest herangezogen.

Statistische Analyse des Leistungsstands

Ob ein Unterschied in der Leistungsfähigkeit zwischen den beiden Gruppen zum Zeitpunkt des Eingangstests bestand, wurde mit einem T-Test für unabhängige Stichproben geprüft. Eine Überprüfung von Ausreißern wurde vorgenommen (vgl. oben). Die Normalverteilung wurde mit dem Shapiro-Wilk Test und die Varianzhomogenität mit dem Levene-Test geprüft. Bei mangelnder Varianzhomogenität wurde anstatt des T-Tests der Welch-Test durchgeführt. Danach wurden die Effektstärken berechnet, um existierende Unterschiede in der Leistungsfähigkeit besser einschätzen zu können:

$$d = \frac{(M1 - M2)}{\sqrt{\frac{(SD1^2 + SD2^2)}{2}}}$$

Statistische Analyse der Leistungsentwicklung

Zur Analyse der unterschiedlichen Leistungsentwicklung zwischen den beiden Gruppen wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse (mixed ANOVA) mit einem Zwischensubjektfaktor (Experimental- vs. Kontrollgruppe) und einem Innersubjektfaktor (Eingangs- vs. Ausgangstest) durchgeführt. Eine Überprüfung von Ausreißern wurde vorgenommen (vgl. oben). Die Normalverteilung wurde mit dem Shapiro-Wilk Test geprüft. Eine Überprüfung der Varianzhomogenität erfolgte über den Levene-Test. Zudem wurde ein Box-Test auf Gleichheit der Kovarianzenmatrizen durchgeführt. Beim Box-Test wurde das Signifikanzniveau auf 0,001 festgelegt (Verma 2016). Die Ermittlung der Effektstärken erfolgte über die Berechnung des partiellen Eta-Quadrat (η^2) in SPSS. Zur Beurteilung der Effektgrößen kann folgende Klassifikation herangezogen werden: $\eta^2 \geq 0,25 =$ großer Effekt, $\eta^2 \geq 0,1 =$ mittlere Effekt und $\eta^2 \geq 0,001 =$ kleiner Effekt (Bortz & Döring, 2015).

Zur Analyse der Leistungsentwicklung innerhalb einer Gruppe wurde ein gepaarter T-Test durchgeführt. Eine Überprüfung von Ausreißern wurde vorgenommen (vgl.

oben). Die Normalverteilung wurde mit dem Shapiro-Wilk Test geprüft. Nach Durchführung des T-Test wurden die Effektstärken berechnet, um existierende Unterschiede in der Leistungsentwicklung besser einschätzen zu können:

$$d = \frac{T}{\sqrt{n}}$$

5 Ergebnisse

5.1 Überblick zur Leistungsentwicklung

Tab. 10 gibt einen Überblick zu den Ergebnissen der Leistungsentwicklung. Bei statistisch-signifikanten Ergebnissen sind zudem die Effektstärken dargestellt, um deren praktische Relevanz beurteilen zu können. Die hellblau-gefärbten Felder stellen signifikante Leistungsverbesserungen innerhalb der Gruppen dar. Signifikante Gruppenunterschiede sind in grün-gefärbten Feldern abgebildet.

Tab. 10: Überblick zur Leistungsentwicklung.

Gruppe	Δ in %	p (innerhalb der Gruppen)	d	p (Gruppeninteraktion)	η^2
Balance (MW rechts & links)					
KG	6,2 ± 10,1	0,128	-	0,983	-
EG	6,4 ± 17,6	0,339	-		
SJ					
KG	14,5 ± 5,9	< 0,001	2,45	0,727	-
EG	17,6 ± 8,2	< 0,001	2,15		
CMJ					
KG	6,9 ± 6,6	< 0,05	1,04	0,943	-
EG	7,7 ± 8,7	< 0,05	0,89		
DJ (LI)					
KG	-4,6 ± 8,0	0,147	-	< 0,05	0,263
EG	11,6 ± 19,8	0,141	-		
Sprint (20 m)					
KG	-0,1 ± 3,9	0,959	-	< 0,05	0,4
EG	-4,2 ± 1,3	< 0,001	3,62		
Maximalkraft (Beinpresse)					
KG	14,3 ± 21,9	0,108	-	0,066	-
EG	38,6 ± 13,5	< 0,01	2,87		

5.2 Testung Balance

Bei der EG war beim Eingangstest mit dem rechten Standbein keine Normalverteilung gegeben ($p = 0,023$). Ansonsten waren alle Datensätze normalverteilt. Eine Varianzhomogenität war durchwegs gegeben. Die Werte der deskriptiven Statistik sind in Tab. 11 dargestellt.

Tab. 11: Deskriptive Statistik zum PKT.

Gruppe	Eingangstest (Punkte)	Ausgangstest (Punkte)	Veränderung (Punkte)	Veränderung (%)
Mittelwert (rechts & links)				
KG	634 ± 93	673 ± 111	39 ± 64	6,2 ± 10,1
EG	600 ± 157	638 ± 110	38 ± 105	6,4 ± 17,6
Linkes Standbein				
KG	619 ± 83	680 ± 125	62 ± 95	9,9 ± 15,3
EG	636 ± 118	639 ± 122	3 ± 86	0,5 ± 13,6
Rechtes Standbein				
KG	650 ± 121	667 ± 108	17 ± 100	2,6 ± 15,4
EG	564 ± 209	637 ± 132	74 ± 153	13,1 ± 27,1

Mittelwert (rechts & links)

Zum Zeitpunkt des Eingangstests lag kein signifikanter Leistungsunterschied zwischen den beiden Mannschaften vor, $t(14) = 0,531$, $p = 0,604$.

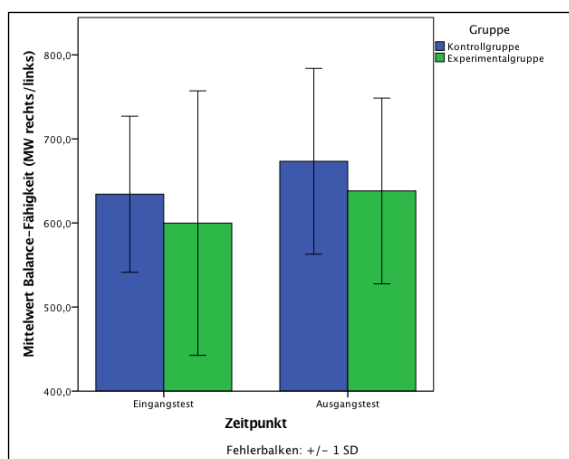


Abb. 22: Durchschnittlich erreichte Punktzahl (0-1000) beim PKT (Mittelwert ± Standardabweichung)

Bei keiner der Mannschaften (KG bzw. EG) konnte eine signifikante Leistungsentwicklung zwischen Ein- und Ausgangstest festgestellt werden, t

(7) = 1,727, $p = 0,128$ bzw. $t(7) = 1,027$, $p = 0,339$. Die zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholungen ergab zudem keine statistisch signifikante Interaktion zwischen dem Testzeitpunkt und den Untersuchungsgruppen, $F = 0,000$; $df = 1$, $p = 0,983$.

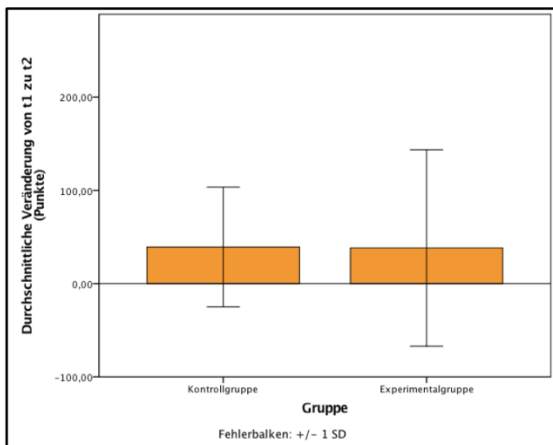


Abb. 23: Durchschnittliche, absolute Entwicklung beim PKT zwischen Eingangs- und Ausgangstest (Mittelwert links/rechts \pm Standardabweichung)

Linkes Standbein

Beim Test mit dem linken Bein lag zum Eingangstest kein signifikanter Leistungsunterschied zwischen den beiden Mannschaften vor, $t(14) = 0,342$, $p = 0,737$.

In beiden Mannschaften erreichten die Leistungsveränderungen kein signifikantes Niveau (KG bzw. EG), $t(7) = 1,839$, $p = 0,109$ bzw. $t(7) = 0,096$, $p = 0,926$. Die zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholungen ergab keine statistisch signifikante Interaktion zwischen dem Testzeitpunkt und den Untersuchungsgruppen, $F = 1,675$; $df = 1$, $p = 0,216$.

Rechtes Standbein

Trotz fehlender Normalverteilung wurde das Testvorgehen nicht modifiziert, da der T-Test und die ANOVA gegenüber einer Verletzung der Normalverteilung als robust gelten (Bös, Hänsel & Schott, 2004). Beim Test mit dem rechten Bein lag zum Eingangstest kein signifikanter Leistungsunterschied vor, $t(14) = 1,088$, $p = 0,331$.

Auch mit dem rechten Standbein konnten keine statistisch signifikanten Leistungsentwicklungen innerhalb der Gruppen festgestellt werden (KG bzw. EG), $t(7) = 0,477$, $p = 0,648$ bzw. $t(7) = 1,362$, $p = 0,215$. Die zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholungen ergab zudem keine statistisch signifikante Interaktion zwischen dem Testzeitpunkt und den Untersuchungsgruppen, $F = 0,768$; $df = 1$, $p = 0,396$.

Die Hypothese 6 muss aufgrund der Testergebnisse verworfen werden.

5.3 Testung Sprung

Beim DJ gab es in der C1 bei der Sprunghöhe einen „extremen Ausreißer“, welcher Zuzufolge hatte, dass die Normalverteilung in der C1 beim DJ (LI) und bei der DJ-Sprunghöhe zu beiden Testzeitpunkten verletzt war. Da sichergestellt werden konnte, dass es sich um einen „echten Ausreißer“ (keine Messfehler) handelt, wurde der Datensatz nicht modifiziert. Für alle übrigen Daten war eine Normalverteilung für beide Gruppen und zu beiden Testzeitpunkten gegeben. Eine Homogenität der Varianzen lag durchwegs vor. Die Werte der deskriptiven Statistik sind in Tab. 12 dargestellt.

Tab. 12: Deskriptive Statistik zur Sprungdiagnostik.

Gruppe	Eingangstest	Ausgangstest	Veränderung	Veränderung (%)
SJ (cm)				
KG	27,16 ± 4,88	31,09 ± 4,66	3,94 ± 1,60	14,5 ± 5,9 *
EG	24,18 ± 2,34	28,43 ± 2,82	4,26 ± 1,98	17,6 ± 8,2 *
CMJ (cm)				
KG	27,82 ± 4,50	29,72 ± 4,75	1,91 ± 1,84	6,9 ± 6,6 *
EG	25,87 ± 2,72	27,85 ± 2,87	1,98 ± 2,24	7,7 ± 8,7 *
DJ (LI)				
KG	146,31 ± 49,05	139,54 ± 38,70	-6,77 ± 11,73	-4,6 ± 8,0
EG	108,96 ± 21,62	121,63 ± 25,68	12,67 ± 21,61	11,6 ± 19,8 #
DJ (Sprunghöhe in cm)				
KG	25,74 ± 4,87 \$	26,46 ± 5,90	0,72 ± 2,18	2,8 ± 8,5
EG	21,07 ± 3,03	22,28 ± 3,18	1,20 ± 3,78	5,7 ± 18,0
DJ (Bodenkontaktzeit in s)				
KG	0,184 ± 0,033	0,191 ± 0,025	0,07 ± 0,018	3,8 ± 9,7
EG	0,197 ± 0,021	0,186 ± 0,021	-0,011 ± 0,020	-5,5 ± 10,0

\$ Signifikanter Leistungsunterschied zwischen den Gruppen beim Eingangstest: $p < 0,05$.

* Signifikante Verbesserung von Eingangs- zu Ausgangstest innerhalb der Gruppe: $p < 0,05$.

Verbesserung signifikant höher als in KG: $p < 0,05$.

Squat Jump

Beim Eingangstest sprangen die KG-Spieler im Durchschnitt um 2,98 cm höher als die EG-Spieler. Es lag jedoch kein signifikanter Leistungsunterschied der beiden Mannschaften vor, $t(14) = 1,559$, $p = 0,14$.

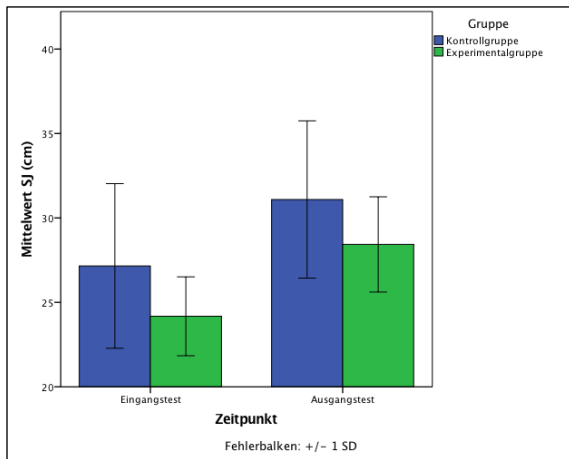


Abb. 24: Ergebnisse des SJ (Mittelwert \pm Standardabweichung)

Beide Mannschaften (KG bzw. EG) steigerten ihre Leistungen zwischen Ein- und Ausgangstest hochsignifikant (95%-CI [2,59; 5,28]), $t(7) = 6,941$, $p < 0,001$, $d = 2,45$ bzw. (95%-CI [2,60; 5,91]), $t(7) = 6,089$, $p < 0,001$, $d = 2,15$. Die Effekte der Leistungsveränderungen sind als groß einzustufen.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholungen ergab keine statistisch signifikante Interaktion zwischen dem Testzeitpunkt und den Untersuchungsgruppen, $F = 0,127$; $df = 1$, $p = 0,727$.

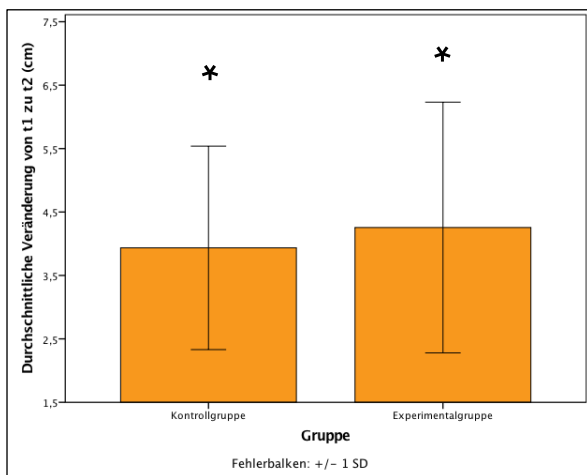


Abb. 25: Durchschnittliche, absolute Veränderung beim SJ zwischen Eingangs- und Ausgangstest (Mittelwert \pm Standardabweichung). * = Signifikante Verbesserung innerhalb der Gruppe: $p < 0,05$

Da sich die Leistungsentwicklung der beiden Mannschaften nicht signifikant unterscheidet, muss die Hypothese 3 verworfen werden.

Counter Movement Jump

Beim Eingangstest war die durchschnittliche Sprunghöhe der KG um 1,95 cm höher als der in der EG. Ein statistisch signifikanter Leistungsunterschied zwischen den beiden Mannschaften lag jedoch nicht vor, $t(14) = 1,047$, $p = 0,313$.

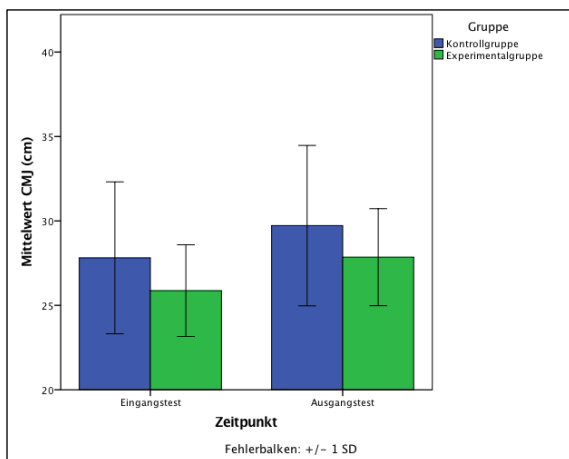


Abb. 26: Ergebnisse des CMJ (Mittelwert \pm Standardabweichung)

Beide Mannschaften (KG bzw. EG) steigerten ihre Leistungen zwischen Ein- und Ausgangstest signifikant (95%-CI [0,37; 3,45]), $t(7) = 2,92$, $p < 0,05$, $d = 1,04$ bzw. (95%-CI [0,11; 3,85]), $t(7) = 2,504$, $p < 0,05$, $d = 0,89$. Basierend auf den Effektstärken, sind die Leistungsverbesserungen als groß einzustufen.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholungen ergab keine statistisch signifikante Interaktion zwischen dem Testzeitpunkt und den Untersuchungsgruppen, $F = 0,005$; $df = 1$, $p = 0,943$.

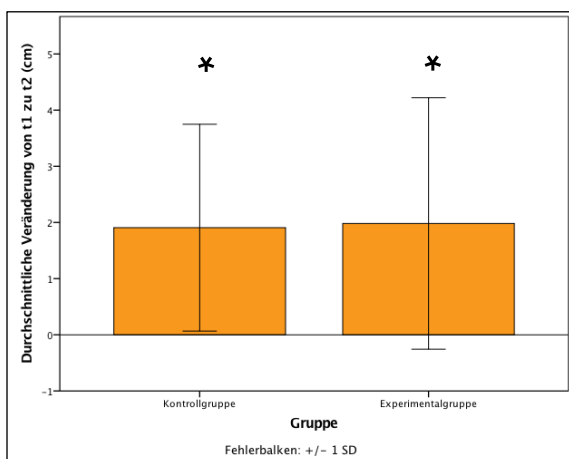


Abb. 27: Durchschnittliche, absolute Veränderung beim CMJ zwischen Eingangs- und Ausgangstest (Mittelwert \pm Standardabweichung). * = Signifikante Verbesserung innerhalb der Gruppe: $p < 0,05$

Da sich die Leistungsentwicklung der beiden Mannschaften nicht signifikant unterscheidet, muss die Hypothese 2 verworfen werden.

Drop Jump

Da der T-Test gegenüber einer Verletzung der Normalverteilung als robust gilt (Bös et al., 2004), wurde das statistische Testvorgehen nicht modifiziert. Im DJ (LI) wurde beim Eingangstest das Signifikanzniveau für einen Leistungsunterschied zwischen den beiden Mannschaften knapp verfehlt, $t(14) = 1,971$, $p = 0,069$.

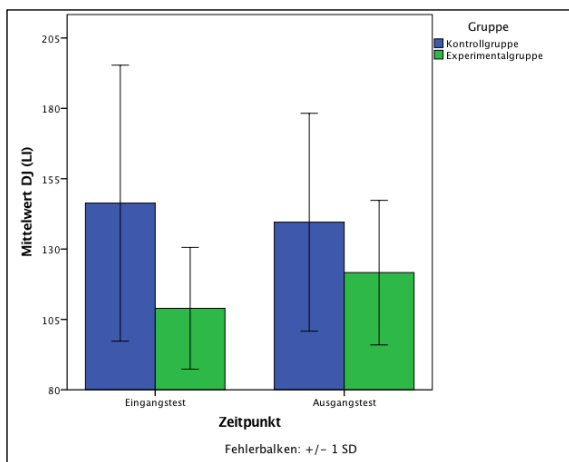


Abb. 28: Ergebnisse des DJ (LI) (Mittelwert \pm Standardabweichung)

Bei beiden Mannschaften konnte für die Leistungsentwicklung (KG negativ bzw. EG positiv) keine statistische Signifikanz festgestellt werden, $t(7) = -1,633$, $p = 0,147$, bzw. $t(7) = 1,658$, $p = 0,141$.

Die durchschnittliche Verbesserung in der EG, in Verbindung mit der Verschlechterung in der KG, haben zu einem signifikanten Gruppenunterschied in der Leistungsentwicklung geführt. Die zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholungen ergab eine statistisch signifikante Interaktion zwischen dem Testzeitpunkt und den Untersuchungsgruppen $F = 4,999$; $df = 1$, $p < 0,05$. Der Effekt kann als groß eingestuft werden ($\eta^2 = 0,263$).

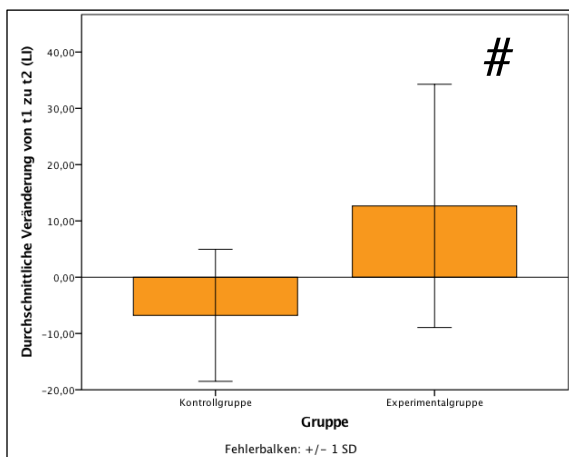


Abb. 29: Durchschnittliche, absolute Veränderung beim DJ (LI) zwischen Eingangs- und Ausgangstest (Mittelwert \pm Standardabweichung). # = Signifikanter Gruppenunterschied: $p < 0,05$

Im Eingangstest lag die durchschnittliche DJ-Sprunghöhe in der KG signifikant höher als in der EG (95%-CI [0,32; 9,10]), $t(14) = 2,302$, $p < 0,05$, $d = 1,151$. Der Effekt kann als groß interpretiert werden.

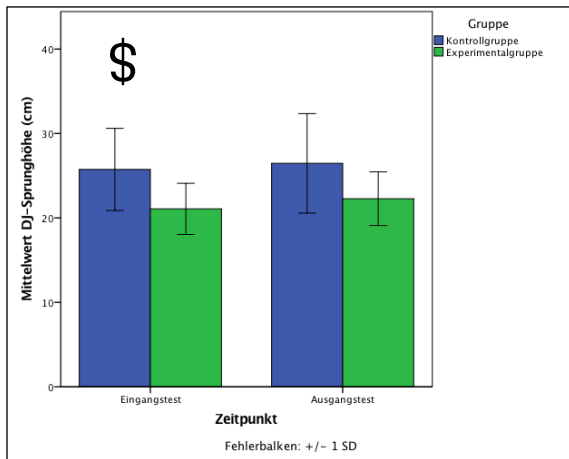


Abb. 30: Ergebnisse der DJ-Sprunghöhe (Mittelwert \pm Standardabweichung). \$ = Signifikante Unterschied zwischen den Gruppen: $p < 0,05$

Keine der beiden Mannschaften (KG bzw. EG) konnte sich in der DJ-Sprunghöhe signifikant verbessern, $t(7) = 0,933$, $p = 0,38$ bzw. $t(7) = 0,90$, $p = 0,398$. Die zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholungen ergab zudem keine statistisch signifikante Interaktion zwischen dem Testzeitpunkt und den Untersuchungsgruppen, $F = 0,097$; $df = 1$, $p < 0,76$.

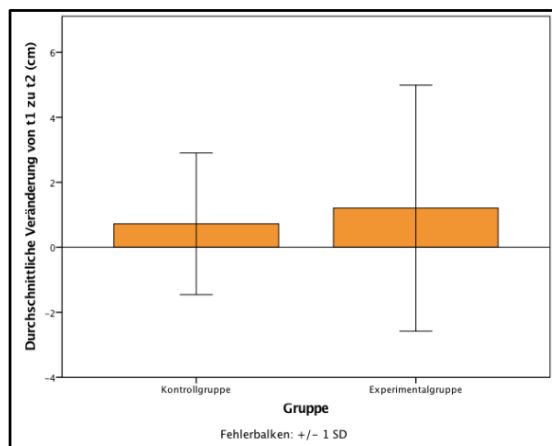


Abb. 31: Durchschnittliche, absolute Veränderung der DJ-Sprunghöhe zwischen Eingangs- und Ausgangstest (Mittelwert \pm Standardabweichung)

Beim zweiten Leistungsparameter des DJ, der BKZ, konnte beim Eingangstest kein signifikanter Leistungsunterschied der beiden Gruppen festgestellt werden, $t(14) = 0,974$, $p = 0,347$.

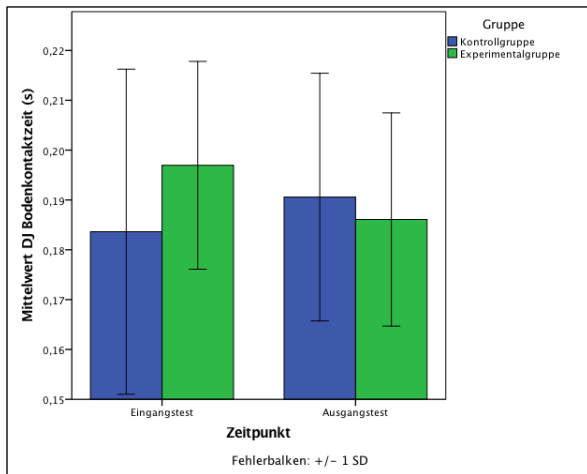


Abb. 32: Ergebnisse der DJ-Bodenkontaktzeit (Mittelwert \pm Standardabweichung)

Bei beiden Mannschaften konnte für die Leistungsentwicklung (KG negativ und EG positiv) keine statistische Signifikanz nachgewiesen werden, $t(7) = -1,108$, $p = 0,304$ bzw. $t(7) = -1,558$, $p = 0,163$. Die zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholungen ergab zudem keine statistisch signifikante Interaktion zwischen dem Testzeitpunkt und den Untersuchungsgruppen, $F = 3,608$; $df = 1$, $p = 0,078$.

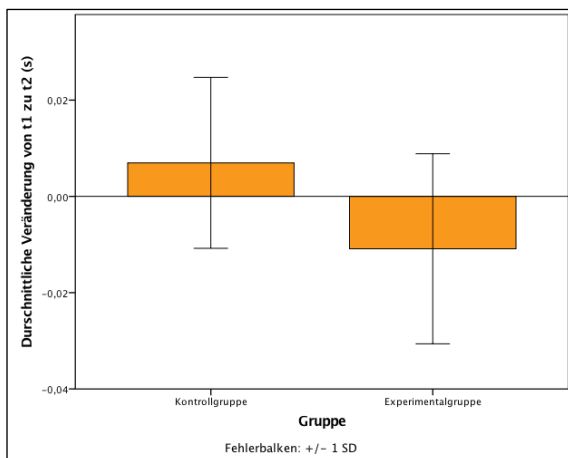


Abb. 33: Durchschnittliche, absolute Veränderung der DJ-Bodenkontaktzeiten zwischen Eingangs- und Ausgangstest (Mittelwert \pm Standardabweichung)

Da sich die EG im DJ (LI) zwar im Vergleich zur KG signifikant besser entwickelt hat, allerdings keine signifikante Verbesserung innerhalb der EG nachgewiesen werden konnte, muss die Hypothese 4 verworfen werden.

5.4 Testung Schnelligkeit

Eine Normalverteilung der Daten war für beide Gruppen und zu beiden Testzeitpunkten gegeben. Im Datensatz waren keine Ausreißer vorhanden. Für alle Sprintdistanzen lag eine Varianzhomogenität vor. Die Werte der deskriptiven Statistik sind in Tab. 13 dargestellt.

Tab. 13: Deskriptive Statistik zum Sprinttest.

Gruppe	Eingangstest (s)	Ausgangstest (s)	Veränderung (s)	Veränderung (%)
20 m Zeit				
KG	3,42 ± 0,16 \$	3,42 ± 0,17	0,00 ± 0,13	-0,1 ± 3,9
EG	3,68 ± 0,21	3,53 ± 0,18	-0,15 ± 0,05	-4,2 ± 1,3 *#
0 - 10 m Zeit				
KG	2,01 ± 0,08 \$	2,05 ± 0,10	0,04 ± 0,11	1,9 ± 5,3
EG	2,15 ± 0,10	2,08 ± 0,07	-0,07 ± 0,04	-3,3 ± 1,8 *#
10 - 20 m Zeit				
KG	1,41 ± 0,10 \$	1,37 ± 0,08	-0,04 ± 0,05	-2,9 ± 3,4
EG	1,53 ± 0,11	1,44 ± 0,11	-0,08 ± 0,03	-5,5 ± 2,0*

\$ Signifikanter Leistungsunterschied zwischen den Gruppen: $p < 0,05$.

* Signifikante Verbesserung von Eingangs- zu Ausgangs-Test innerhalb der Gruppe: $p < 0,05$.

Verbesserung signifikant höher als in KG: $p < 0,05$.

20 m

Beim Eingangstest lag ein signifikanter Leistungsunterschied zwischen den beiden Gruppen vor (95%-CI [0,06; 0,46]), $t(14) = 2,813$, $p < 0,05$, $d = 1,407$. Der Unterschied kann als groß eingestuft werden.

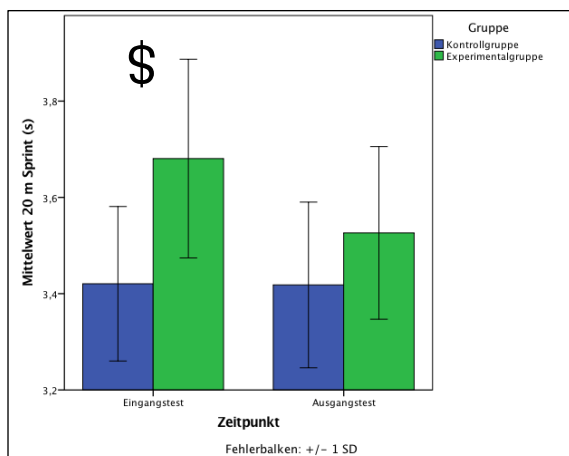


Abb. 34: Ergebnisse der 20 m Zeit (Mittelwert ± Standardabweichung). \$ = Signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen: $p < 0,05$

Während bei der KG keine Leistungsveränderungen zu erkennen waren ($t(7) = 0,053$, $p = 0,959$), verbesserte sich die EG hochsignifikant (95%-CI [-0,20; -0,11]), $t(7) = -8,881$, $p < 0,001$, $d = 3,615$. Der Effekt der Leistungsentwicklung in der EG ist als groß zu bewerten.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholungen ergab eine statistisch signifikante Interaktion zwischen dem Testzeitpunkt und den Untersuchungsgruppen, $F = 9,238$; $df = 1$, $p < 0,05$. Es handelt sich um einen großen Effekt ($\eta^2 = 0,4$).

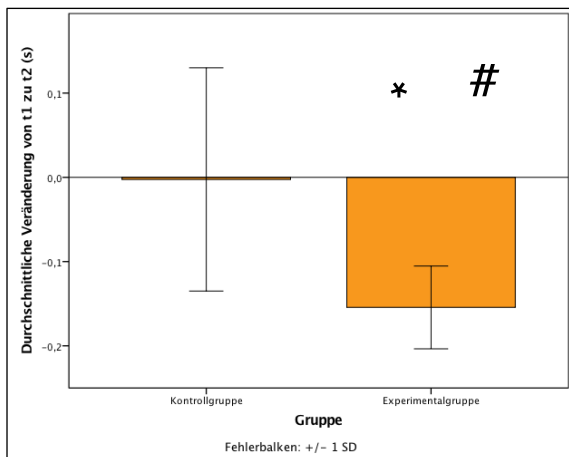


Abb. 35: Durchschnittliche, absolute Veränderung der 20 m Sprintzeit zwischen Eingangs- und Ausgangstest (Mittelwert \pm Standardabweichung). * = Signifikante Verbesserung innerhalb der Gruppe: $p < 0,05$; # = Signifikanter Gruppenunterschied: $p < 0,05$

0-10 m

Bei der ersten Zwischenzeit (0-10 m) lag zum Zeitpunkt des Eingangstests ein signifikanter Leistungsunterschied der zwei Gruppen vor (95%-CI [0,05; 0,25]), $t(14) = 3,225$, $p < 0,05$, $d = 1,63$. Die Effektstärke ist als groß zu bewerten.

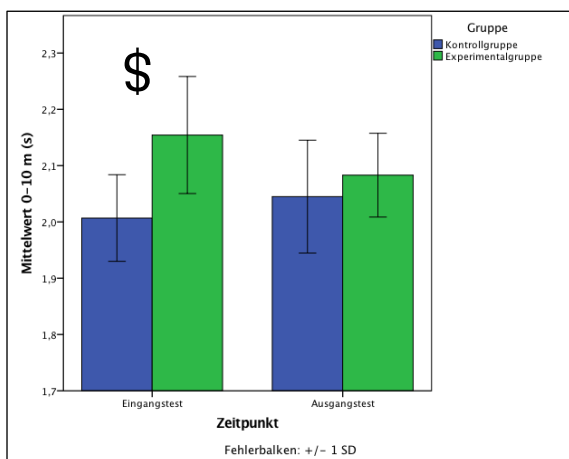


Abb. 36: Ergebnisse der 0-10 m Zeit (Mittelwert \pm Standardabweichung). \$ = Signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen: $p < 0,05$

Bei der KG unterschieden sich die Ergebnisse zwischen Ein- und Ausgangstest nicht signifikant voneinander, $t(7) = 1,007$, $p = 0,347$). Dagegen verbesserte sich die EG hochsignifikant (95%-CI [-0,25; -0,05]), $t(7) = -5,134$, $p < 0,01$, $d = 2,74$. Die Stärke des Effektes, der EG-Leistungsentwicklung, ist als groß einzustufen.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholungen ergab eine statistisch signifikante Interaktion zwischen dem Testzeitpunkt und den Untersuchungsgruppen, $F = 7,636$; $df = 1$, $p < 0,05$. Der Effekt ist als groß zu bewerten ($\eta^2 = 0,345$).

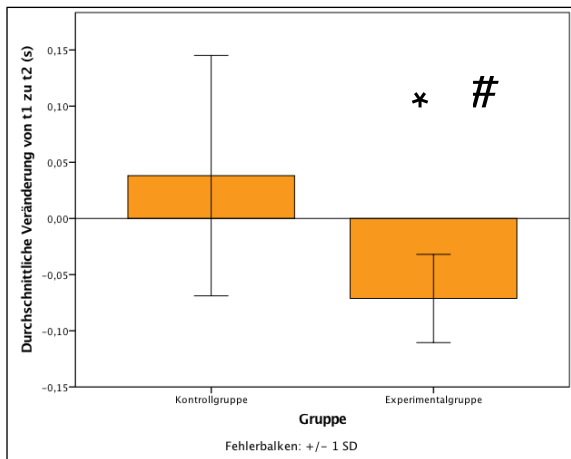


Abb. 37: Durchschnittliche, absolute Veränderung der 0-10 m Sprintzeit zwischen Eingangs- und Ausgangstest (Mittelwert \pm Standardabweichung). * = Signifikante Verbesserung innerhalb der Gruppe: $p < 0,05$; # = Signifikanter Gruppenunterschied: $p < 0,05$

10-20 m

Im zweiten Streckenabschnitt (10-20 m) lagen beim Eingangstest signifikante Leistungsunterschiede vor (95%-CI [0,00; 0,22]), $t(14) = 2,167$, $p < 0,05$, $d = 1,084$. Die Leistungsunterschiede sind zum Zeitpunkt des Eingangstests als groß zu bewerten.

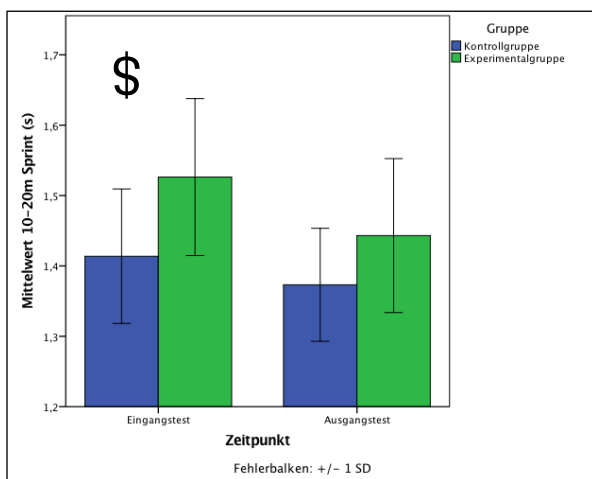


Abb. 38: Ergebnisse der 10-20 m Zeit (Mittelwert \pm Standardabweichung). \$ = Signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen: $p < 0,05$

Bei der KG wurde das Signifikanzlevel für eine Leistungssteigerung knapp verpasst $t(7) = -2,369$, $p = 0,05$. Die EG verbesserte sich hingegen auch auf der zweiten Teilstrecke hochsignifikant (95%-CI [-0,11; -0,06]), $t(7) = -7,474$, $p < 0,001$, $d = 2,74$. Es handelt sich um einen großen Effekt bei der Leistungsentwicklung der EG. Bei der zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholungen wurde eine statistisch signifikante Interaktion zwischen dem Testzeitpunkt und den Untersuchungsgruppen knapp verfehlt, $F = 4,413$; $df = 1$, $p = 0,054$.

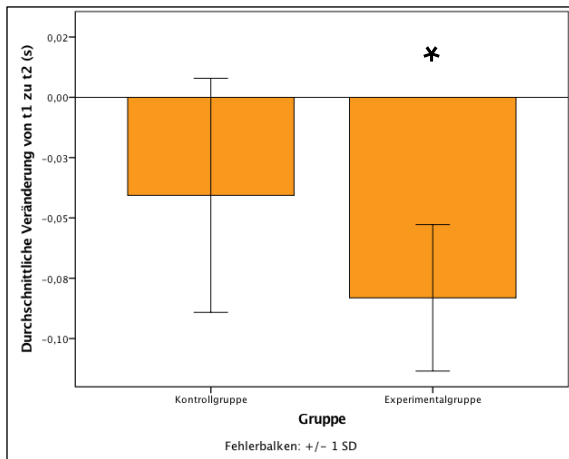


Abb. 39: Durchschnittliche, absolute Veränderung der 10-20 m Sprintzeit zwischen Eingangs- und Ausgangstest (Mittelwert \pm Standardabweichung); * = Signifikante Verbesserung innerhalb der Gruppe: $p < 0,05$

Auf Basis der Untersuchungsergebnisse wird die Hypothese 1 angenommen.

5.5 Testung Maximalkraft

Eine Normalverteilung der Daten war für beide Gruppen und zu beiden Testzeitpunkten gegeben. Im Datensatz waren keine extremen Ausreißer vorhanden. Die Werte der deskriptiven Statistik sind in Tab. 14 dargestellt.

Tab. 14: Deskriptive Statistik zum Test der isometrischen Maximalkraftleistung.

Gruppe	Eingangstest (N)	Ausgangstest (N)	Veränderung (N)	Veränderung (%)
KG	1.906 \pm 623 \$	2.178 \pm 561	272 \pm 417	14,3 \pm 21,9
EG	1.194 \pm 392	1.655 \pm 498	461 \pm 161	38,6 \pm 13,5 *

\$ Signifikanter Leistungsunterschied zwischen den Gruppen: $p < 0,05$.

* Signifikante Verbesserung von Eingangs- zu Ausgangstest innerhalb der Gruppe: $p < 0,05$.

Da beim Eingangstest keine Varianzhomogenität vorlag ($p = 0,037$), wurde der Welch-Test durchgeführt. Der Test ergab, dass der Mittelwert der KG signifikant höher war, als der Mittelwert der EG (95%-CI [144; 1280]), $t(11,78) = 2,736$, $p < 0,05$, $d = 1,369$. Die ermittelte Effektstärke für den Leistungsunterschied ist als groß einzustufen.

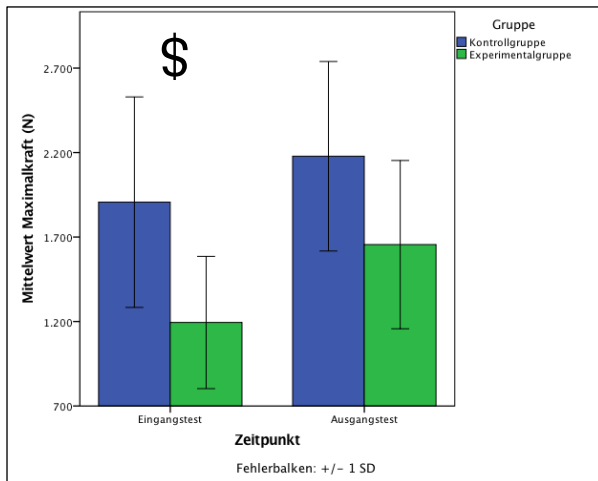


Abb. 40: Ergebnisse der isometrischen Maximalkraftleistung (Mittelwert \pm Standardabweichung). \$ = Signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen: $p < 0,05$

In der KG erreichten die Verbesserungen kein statistisch signifikantes Niveau, $t(7) = 1,841$, $p = 0,108$. Dagegen steigerte sich die EG hochsignifikant, $t(7) = 5,134$, $p < 0,01$, $d = 2,87$. Die Effektstärke der Leistungsentwicklung, in der EG, ist als groß zu bewerten.

Ohne Varianzhomogenität kann mithilfe einer ANOVA keine verlässliche Aussage getroffen werden. Um die Varianzen zu stabilisieren, wurde deshalb eine Box-Cox-Transformation durchgeführt (Box & Cox 1964). Dabei wurden die Werte vom Eingangs- und vom Ausgangstest jeweils mit dem Exponenten potenziert, der die Standardabweichung des Eingangstests am kleinsten ausfallen lässt ($\lambda = 0,049$). Zur Berechnung wurde auf das online abrufbare Programm von Hemmerich (2019) zurückgegriffen. Bei der im Anschluss durchgeführten zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholungen wurde das Signifikanzniveau für einen Gruppenunterschied knapp verfehlt, $F = 3,986$; $df = 1$, $p = 0,066$.

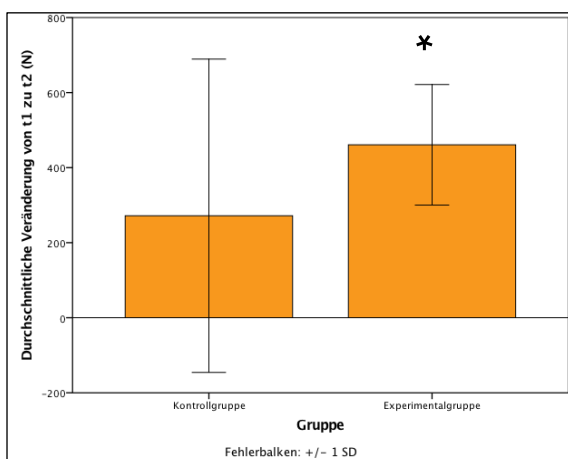


Abb. 41: Durchschnittliche, absolute Veränderung der isometrischen Maximalkraftleistung zwischen Eingangs- und Ausgangstest (Mittelwert \pm Standardabweichung); * = Signifikante Verbesserung innerhalb der Gruppe: $p < 0,05$

Basierend auf den Ergebnissen der zweifaktoriellen Varianzanalyse muss die Hypothese 5 verworfen werden.

5.6 Korrelationen

Tab. 15: Korrelationskoeffizienten-Matrix der KG (oben) und EG (unten in kursiv).

	Bal. (l)	Bal. (r)	Bal. (MW)	SJ	CMJ	DJ (LI)	DJ (SH)	DJ (BKZ)	20m	0- 10m	10- 20m	Kra -ft
Bal. (l)	1 <i>1</i>											
Bal. (r)	,8* <i>,51</i>	1 <i>1</i>										
Bal. (MW)	,96* <i>,86*</i>	,94* <i>,88*</i>	1 <i>1</i>									
SJ	-,65 <i>,13</i>	-,63 <i>,67</i>	-,68 <i>,47</i>	1 <i>1</i>								
CMJ	-,61 <i>,62</i>	-,61 <i>,62</i>	-,66 <i>,46</i>	,93* <i>,77*</i>	1 <i>1</i>							
DJ (LI)	-,4 <i>,6</i>	-,31 <i>,46</i>	-,38 <i>,6</i>	,85* <i>,56</i>	,79* <i>,54</i>	1 <i>1</i>						
DJ (SH)	-,53 <i>,34</i>	-,51 <i>,31</i>	-,55 <i>,37</i>	,88* <i>,4</i>	,88* <i>,52</i>	,9* <i>,85*</i>	1 <i>1</i>					
DJ (BKZ)	-,14 <i>-,6</i>	-,36 <i>-,51</i>	-,26 <i>-,63</i>	-,22 <i>-,55</i>	-,12 <i>-,38</i>	-,55 <i>,71*</i>	-,14 <i>-,25</i>	1 <i>1</i>				
20m	,21 <i>-,58</i>	,22 <i>-,8*</i>	,23 <i>-,8*</i>	-,71* <i>-,55</i>	-,46 <i>-,69</i>	-,72* <i>-,42</i>	-,52 <i>-,19</i>	,56 <i>,56</i>	1 <i>1</i>			
0-10m	,21 <i>-,61</i>	,36 <i>-,71*</i>	,3 <i>-,76*</i>	-,76* <i>-,42</i>	-,51 <i>-,57</i>	-,73* <i>-,41</i>	-,6 <i>-,12</i>	,42 <i>,64</i>	,96* <i>,96*</i>	1 <i>1</i>		
10-20m	,19 <i>-,54</i>	,02 <i>-,82*</i>	,12 <i>-,79*</i>	-,58 <i>-,62</i>	-,34 <i>-,75*</i>	-,63 <i>-,41</i>	-,36 <i>,24</i>	,67 <i>,47</i>	,94* <i>,98*</i>	,82* <i>,9*</i>	1 <i>1</i>	
Kraft	-,52 <i>,42</i>	-,37 <i>,32</i>	-,48 <i>,42</i>	,39 <i>,48</i>	,16 <i>,25</i>	,39 <i>,34</i>	,15 <i>-,17</i>	-,5 <i>-,86*</i>	-,64 <i>-,54</i>	-,55 <i>-,63</i>	-,7 <i>-,46</i>	1 <i>1</i>

* Signifikant: $p < 0,05$.

Bei der Ermittlung der Zusammenhänge erfolgte die Berechnung der Korrelationskoeffizienten für beide Mannschaften getrennt. Da die KG im Eingangstest zum Teil signifikant bessere Werte erzielte als die EG, soll dadurch kontrolliert werden, dass die ermittelten Korrelationen nicht vom Leistungsstand der Gruppen beeinflusst werden. Für einen signifikanten Zusammenhang ($p < 0,05$) beträgt der kritische Korrelationskoeffizient 0,71 ($n = 8$). Es wird darauf hingewiesen, dass es beim DJ (LI) und bei der DJ-Sprunghöhe einen „extremen Ausreißer“ in der KG gab. Ein einziger Ausreißer kann ein Grund für einen besonders hohen oder niedrigen Korrelationskoeffizienten sein (Hemmerich, o. J.). Dies muss bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden. Die nachfolgenden Abbildungen stellen die Zusammenhänge zwischen einzelnen, ausgewählten Tests grafisch dar.

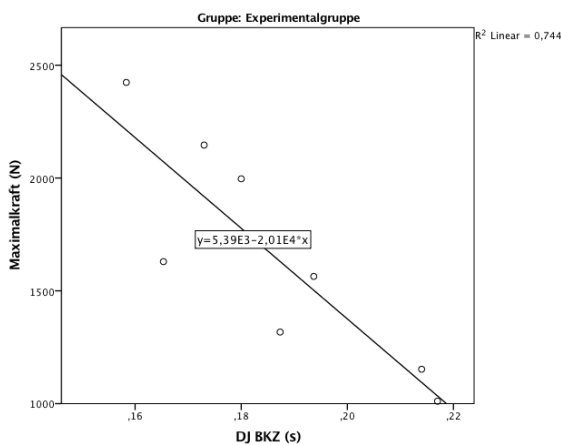


Abb. 42: Streudiagramm der Maximalkraft und der DJ-BKZ (EG)

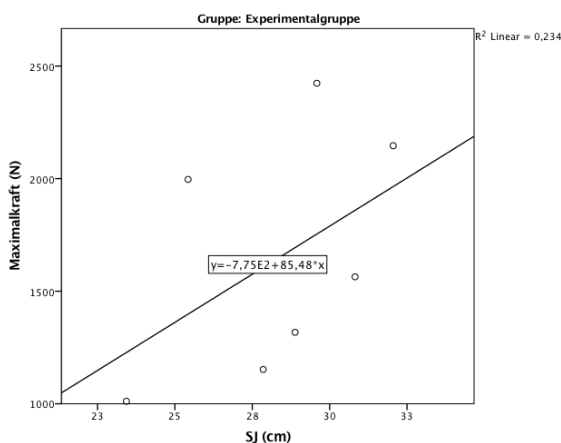


Abb. 43: Streudiagramm der Maximalkraft und des SJ (EG)

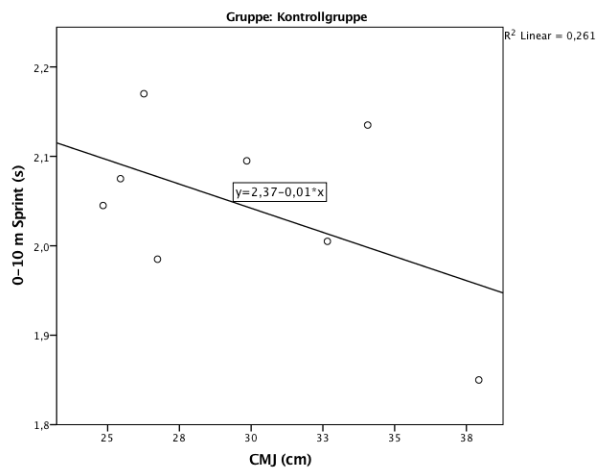


Abb. 44: Streudiagramm der 0-10 m Sprintzeit und des CMJ (KG)

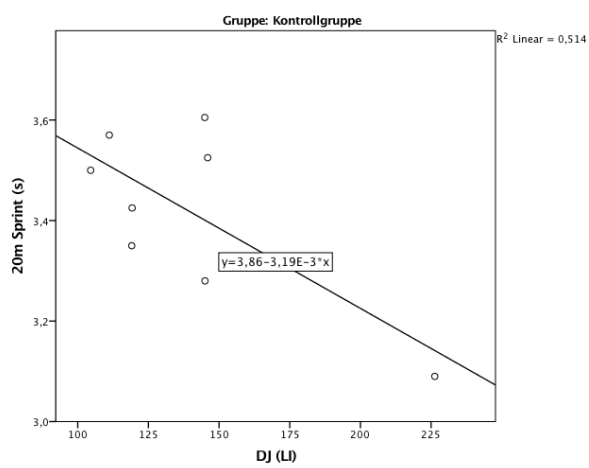


Abb. 45: Streudiagramm der 20 m Sprintzeit und des DJ (KG)

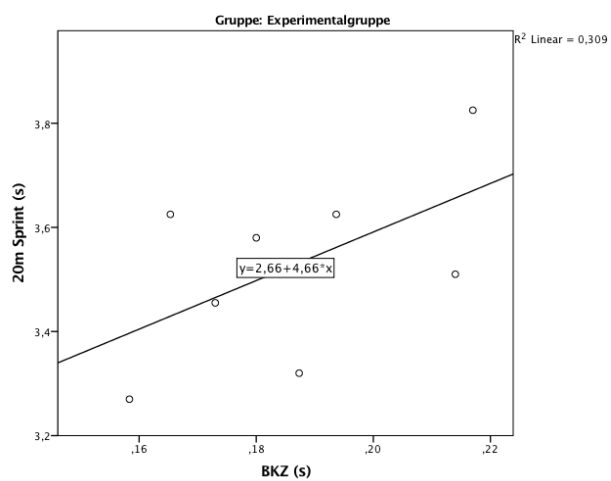


Abb. 46: Streudiagramm der 20 m Sprintzeit und der DJ-BKZ (EG)

6 Diskussion

6.1 Methodendiskussion

Studiendesign

Um variierende Einflüsse auf die Testergebnisse möglichst zu eliminieren, wurden beim Ein- und Ausgangstest jeweils die gleichen Testgeräte genutzt, der gleiche Ablaufplan gewählt und am gleichen Ort sowie zu ähnlichen Uhrzeiten getestet. Um Wettereinflüsse zu vermeiden, fanden alle Testungen im Labor oder in der Turnhalle statt. Eine Randomisierung war nicht umsetzbar, da nach Vorgabe des Vereins alle Spieler einer Mannschaft die gleichen Trainingsinhalte absolvieren sollten. Die Störvariablen „Alter“ und „Entwicklungsstadium“ wurden für alle Probanden möglichst konstant gehalten (Ausschlusskriterium „mid-PHV Alter“). Bezüglich des Trainingsvolumens war eine Konstanzhaltung nicht möglich. Dadurch, dass die KG mehr Einheiten absolvierte als die EG, kann die Störvariable „höheres Trainingsvolumen“ allerdings ausgeschlossen werden. Es wäre aber auch theoretisch denkbar, dass ein hohes Trainingsvolumen, in Verbindung mit einem ausdauerorientierten Trainingsansatz, negative Auswirkungen auf die schnellkräftigen Leistungen von Nachwuchsfußballspielern hat (Hohmann, et al., 2014). Eine Befragung des Trainers der KG ergab hinsichtlich des Athletiktrainings während des Untersuchungszeitraums folgendes (Abb. 47):

Frage 1: Wurde im Bereich Krafttraining gearbeitet? Wenn ja, mit welchen Belastungsparametern?

Antwort: „Im Bereich Krafttraining wurde nicht gezielt gearbeitet.“

Frage 2: Wurde im Bereich plyometrisches Training gearbeitet? Wenn ja, mit welchen Belastungsparametern?

Antwort: „Im Zeitraum der Studie wurden nur in einer Einheit Sprungübungen durchgeführt (Froschsprünge).“

Frage 3: Wurde im Bereich Schnelligkeit gearbeitet? Wenn ja, mit welchen Belastungsparametern?

Antwort: „Einmal pro Woche fand ein Sprinttraining statt. Dabei wurden ca. 5 Sprints über 15-20 m mit vollständiger Pause durchgeführt. Zusätzlich gab es einmal pro Woche eine intensive Belastung mit lohnenden Pausen - entweder Bergläufe oder Läufe mit Richtungswechseln.“

Frage 4: Wurde im Bereich Balance-Training gearbeitet? Wenn ja, mit welchen Belastungsparametern?

Antwort: „In diesem Bereich wurde nicht gearbeitet.“

Frage 5: Wurde im Bereich Ausdauertraining gearbeitet? Wenn ja, mit welchen Belastungsparametern?

Antwort: „Das Ausdauertraining wurde zum Großteil mit Spielformen abgedeckt. Meistens betrug die Belastungszeit 90 s mit 30 s aktiver Pause dazwischen. I.d.R. wurden 4-6 Durchgänge auf einem großen Spielfeld absolviert.“

Abb. 47: Interview mit dem KG-Trainer zu den athletischen Trainingsinhalten

Die Befragung zeigt, dass in der KG nur in den Bereichen Sprint und Ausdauer gezielt trainiert wurde. Beim Sprinttraining wurden zudem nur geringe Umfänge absolviert. Das Training kann folglich als ausdauerorientiert bezeichnet werden.

Stichprobengröße

In die Analyse wurden nur Spieler einbezogen, die an beiden Testterminen teilgenommen hatten. Bei beiden Mannschaften hatten jeweils 12 Spieler sowohl den Ein-

gangs- als auch den Ausgangstest vollständig absolviert. Durch die weiteren Ausschlusskriterien ergab sich ein Ausfall von jeweils 4 Spielern pro Mannschaft, so dass nur 8 Spieler je Mannschaft in die Analyse einbezogen werden konnten. Nach dem „Gesetz der großen Zahlen“ nimmt bei größeren Stichproben die Gefahr für zufällige Verzerrungen ab (Bös et al., 2004). Die Stichprobengröße in dieser Studie kann als klein bewertet werden und ist folglich anfällig für zufällige Verzerrungen. Dadurch sinkt bei den Nullhypothesen-Tests die „Teststärke“. Es besteht vor allem die Gefahr, dass ein Fehler 2. Art entsteht (β -Fehler) und somit existierende Unterschiede nicht aufgedeckt werden.

Datenerfassung

Die Testverfahren müssen die wissenschaftlichen Hauptgütekriterien (Objektivität, Reliabilität und Validität) erfüllen, da ohne deren Erfüllung die Testinformationen keine Bedeutung haben. Im Folgenden werden, die angewandten Testverfahren hinsichtlich der zu erfüllenden Testkriterien geprüft.

Aufgrund der sog. „first trial reactions“ (Oude Nijhuis et al., 2009) und den schnellen Lerneffekten auf einer bestimmten instabilen Unterlage (hier Posturomed), bedarf es einer Gewöhnungsphase von mehreren Minuten, damit die Lerneffekte vor Beginn des Eingangstest weitgehend abgeschlossen sind. Nur so kann das angewandte Testverfahren mögliche Änderungen in der Gleichgewichtsfähigkeit zwischen dem Eingangs- und dem Ausgangstest verlässlich aufzeigen. Boeer et al. (2010) berichten, dass bei ihren Untersuchungen mit dem Posturomed nur geringe Verbesserungen zwischen dem ersten und dem fünften Versuch innerhalb einer Versuchsreihe zu erkennen waren ($p = 0,25$) und es nicht zu kontinuierlichen Verbesserungen der Messwerte gekommen ist. Ihre Probanden absolvierten ein mehrminütiges Eingewöhnungstraining kurz vor dem Test sowie einen Probeversuch direkt vor der Messung. Daraus schließen sie, dass die Gewöhnungsphase mit Probemessung auf dem Posturomed effektiv ist, um das Mitmessen von Habituationseffekten zu vermeiden. Andererseits zeigen die Untersuchungen von Fehr, Frank und Rist (2010) gegensätzliche Ergebnisse bezüglich dem Mitmessen von Habituationseffekten und stellen die Eignung des Posturomeds als Testgerät in Frage. Trotz einer zweiminütigen Eingewöhnungsphase wiesen die Werte zwischen dem ersten und dem vierten Versuch signifikante Verbesserungen (30,3 %) auf - mit einer niedrigen Korrelation zwischen Versuch 1 und 4 ($r = 0,36$). Während Boeer et al. beide Riegel geschlossen hatten (niedrigste Anforderungsstufe) und ihren Probanden direkt vor der ersten Messung einen Probeversuch gewährten, wählten Fehr et al. die höchste Anforderungsstufe (beide Riegel offen) ohne Probeversuch unmittelbar vor dem ersten Testversuch. In dieser Studie wurde der vom Hersteller (Haider) entworfene Posturokybernetiktest (PKT) angewandt, bei dem ein Riegel geöffnet war und ein Probeversuch sowie ein 3-minütiges Eingewöhnungstraining gewährt wurden. Die Test-Retest-Korrelation lag für das rechte Standbein bei $r = 0,77$ und für das linke Standbein bei $r = 0,68$ (jeweils $p < 0,001$) und kann somit als gut klassifiziert werden. Beim Eingangstest ($n = 31$) lagen die Verbesserungen zwischen dem ersten zum dritten Versuch rechts

bei 10,4 % ($\pm 19,2$ %) und links bei 3,6 % ($\pm 63,6$ %). Beide Verbesserungen erreichten kein signifikantes Niveau. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass das Posturomed beim angewandten Testvorgehen reliabel ist.

Die Sprunghöhe wurde nach dem Flug-Zeit-Verfahren auf einer Kontaktmatte berechnet. Beim Flugzeitverfahren wird ein symmetrischer Verlauf des Körperschwerpunkts angenommen, was allerdings in der Realität nicht der Fall ist. Zudem kann die Flugzeit durch das Anziehen der Beine beim Landen beeinflusst werden. Dies schränkt die Genauigkeit der Messungen beim CMJ, SJ als auch beim DJ ein (Wank & Coenning, 2018). Beim SJ besteht zudem die Problematik, dass mögliche Auftaktbewegungen des Sportlers visuell kontrolliert werden müssen. Dass zwei verschiedene Leistungsdiagnostiker den Eingangs- bzw. Ausgangstest durchgeführt haben, schränkt die Übertragbarkeit der Ergebnisse außerdem etwas ein. Dies könnte auch der Grund für die relativ hohen durchschnittlichen SJ-Verbesserungen in beiden Testgruppen (14-18 %) im Vergleich zum CMJ (7-8 %) sein. Etwas verwunderlich ist zudem, dass im Ausgangstest die durchschnittlichen Sprunghöhen im SJ höher waren als im CMJ. Generell wird davon ausgegangen, dass die Leistungen im CMJ höher sind, da der DVZ zur Kraftentfaltung genutzt werden kann (Keiner, 2014). Dies könnte möglicherweise darauf zurückzuführen sein, dass beim SJ die Ausholbewegung der Probanden nicht vollständig ausgeschaltet waren. Trotz der genannten Schwächen betrug die Test-Retest-Korrelation beim SJ $r = 0,82$, beim CMJ $r = 0,76$ und beim DJ (LI) $r = 0,87$ (jeweils $p < 0,001$) und kann somit bei allen Sprungformen als sehr gut bewertet werden. Der Einsatz einer KG verhindert außerdem eine Fehlinterpretation der Ergebnisentwicklungen zwischen den beiden Testterminen.

Es wird berichtet, dass Sprintmessungen reliabel sind, um die Leistungsveränderungen von Nachwuchssportlern aufzudecken. Der Variationskoeffizient liegt bei Sprintstrecken zwischen 10-40 m bei circa 0,8-2,1 % und damit unter dem gewöhnlichen Ausmaß an Verbesserungen, die durch Trainingsadaptionen oder Reifeprozesse entstehen (Drinkwater, Hopkins, McKenna, Hunt & Pyne, 2007). Die Test-Retest-Korrelation lag bei den ersten 10 m bei $r = 0,57$, bei den zweiten 10 m bei $r = 0,95$ und bei der Zeit über 20 m bei $r = 0,81$ (jeweils $p < 0,001$). Dies zeigt, dass der zweite Streckenabschnitt eine hervorragende Test-Retest-Reliabilität aufweist, die erste Beschleunigungsphase über 10 m allerdings nur als mittelmäßig reliabel interpretiert werden kann.

Die Maximalkraft der unteren Extremitäten kann entweder über einen Maximalversuch (1-RM), z.B. bei der Kniebeuge, ermittelt werden oder isometrisch mithilfe einer Kraftmessplatte. Beide Methoden haben Vor- und Nachteile. Während beim 1-RM-Versuch eine gute Technik der Zielübung Voraussetzung ist, ist eine isometrische Maximalkraftleistung in der Beinpresse für die Probanden einfach ausführbar. Andererseits wird bei der Messung der Maximalkraft mit der Beinpresse keine Körperstabilität verlangt. Da eine gute Stabilität für alle Sportbewegungen sehr wichtig ist, schränkt dies die Übertragbarkeit der Maximalkraft auf sportartspezifische Bewegungen ein. Da der Interventionsphase in dieser Studie keine Technik-Trainingsphase vorge-schaltet werden konnte, wurde die Beinkraft an der Beinpresse ermittelt. Die Test-

Retest-Korrelation für die Kraftmessung lag bei $r = 0,97$ ($p < 0,001$) und kann als hervorragend eingestuft werden.

Es kann kritisiert werden, dass die Agility-Fähigkeiten nicht getestet wurden. Eigentlich war eine Testung der Agility geplant (analog zur DFB-Testbatterie), musste aber am ersten Testtag aus organisatorischen Gründen kurzfristig gestrichen werden.

6.2 Ergebnisdiskussion

Balance

Die Daten in dieser Studie zeigen, dass durch das Athletiktrainingsprogramm keine Verbesserungen der unilateralen Gleichgewichtsfähigkeit zu erwarten sind. Dies könnte vor allem auf zwei Gründe zurückzuführen sein: Zum einen auf das geringere Trainingsvolumen im Vergleich zu anderen Studien (Emery et al., 2005; Granacher et al., 2010; Gruber et al., 2007) und zum anderen darauf, dass die Spieler die Balance-Übungen selbständig zuhause durchführen sollten. Somit ist fraglich, ob und in welcher Form die Spieler die aufgegebenen Übungen absolviert haben. Bei den Trainingsprotokollen von Granacher et al. (2010) und Gruber et al. (2007) absolvierten die Probanden 3 wöchentliche Einheiten je 30 min, wobei zwei Einheiten im Rahmen des Sportunterrichts unter Anleitung eines Trainers stattfanden und eine Einheit als Hausaufgabe aufgegeben wurde. Bei Emery et al. (2005) sollten die Probanden die Einheiten selbständig zuhause durchführen, dies aber täglich über einen Zeitraum von 6 Monaten.

Es ist weitere Forschungsarbeit über die Dosis-Wirkungsbeziehungen des Balance-Training im Nachwuchsbereich notwendig. Ebenfalls wäre von Interesse, ob sich das Gleichgewichtstraining effektiv im Rahmen eines Komplextrainings mit fußballerischen Elementen verbinden lässt, z.B. in Form einer Passübung, bei dem ein Spieler mit einem Fuß auf einem Balance-Kissen steht, während ein Partner ihm den Ball zuwirft.

Maximalkraft

Nach Vääntinen et al. (2011) entwickelt sich die Maximalkraft von pubertären Nachwuchsfußballern ohne Krafttraining um ca. 15-30 % innerhalb eines Jahres. Christou et al. (2006) berichten von Kraftsteigerungen von 31 % innerhalb von 16 Wochen bei mid-PHV Fußballern ohne ein Krafttraining. Bei beiden genannten Studien erfolgte die Messung an der Beinpresse, wodurch eine Vergleichbarkeit zu der vorliegenden Studie gegeben ist. Die durchschnittlichen Leistungssteigerungen der KG (14 %) können somit als literaturkonform eingeordnet werden.

Nach einem Krafttraining über 8-16 Wochen wird bei mid-PHV Nachwuchssportlern von Kraftsteigerungen an der Beinpresse von 40 bis 70 % berichtet (Christou et al., 2006; Hetzler et al., 1997). Die EG steigerte ihre Werte nach 16 Wochen Krafttraining signifikant um 39 %. Auch diese Werte sind somit konform mit bisherigen Forschungsergebnissen. Obwohl das Signifikanzniveau für einen Gruppenunterschied in der Kraftentwicklung knapp verfehlt wurde ($p = 0,066$), kann vermutet werden,

dass sich das Krafttraining positiv auf das Maximalkraftniveau der EG-Spieler ausgewirkt hat. Im Vergleich zu den genannten Studien, war das Trainingsvolumen in dieser Studie wesentlich geringer. Es scheint aber, als würde ein niedrig-dosiertes Krafttraining bereits Trainingsadaptionen hervorrufen. Allerdings kann davon ausgegangen werden, dass mit einem höheren Trainingsvolumen auch die Kraftzugewinne steigen (Faigenbaum et al., 2002; Peitz et al., 2018).

Entgegen der Trainingsprotokolle in anderen mid-PHV Studien (Christou et al., 2006; Hetzler et al., 1997; Keiner et al., 2013; Wong et al., 2010), fand das Krafttraining nicht im erholten Zustand, sondern am Ende der Trainingseinheit statt. Außerdem wurden alle Einheiten in Form eines Zirkeltrainings absolviert. Dadurch waren die Pausenzeiten vergleichsweise gering. Ob diese Faktoren Auswirkungen auf die Ergebnisse hatten, kann nicht explizit beantwortet werden. Es scheint aber keine schädliche Wirkung gehabt zu haben.

Die Übungen für die unteren Extremitäten (Ausfallschritt und Beckenlift) wurden ausgewählt, um die bei Sprints und Richtungswechseln wichtigen Knie- und Hüftextensoren zu trainieren. Dabei handelte es sich überwiegend um unilaterales Training. Die Beckenstabilisatoren haben bei unilateralen Bewegungen eine andere Funktion als bei beidbeinigen Bewegungen. Bei bilateralen Übungen werden die Hauptstabilisatoren des Beckens, insbesondere der M. adductor magnus, kaum aktiviert, so dass eine Transferwirkung zwischen der uni- und bilateralen Beinkraft begrenzt ist (Boyle & Cosgrove, 2015). Dass trotz der vorgenommenen Übungsauswahl Kraftsteigerungen im beidbeinigen Test an der Beinpresse erzielt wurden, spricht für die Effektivität der Trainingsübungen.

Zudem ist von Interesse, welche Mechanismen für die Kraftzugewinne verantwortlich sind. Es kann davon ausgegangen werden, dass in beiden Gruppen Leistungssteigerungen durch funktionelle, reifebedingte Veränderungen hervorgerufen wurden. Denn innerhalb der 17 Wochen steigerte sich das Körpergewicht der Spieler im Mittel um 2,6 (EG) bzw. 2 kg (KG) bei einer Körperlängenzunahme von 2,7 bzw. 2,4 cm. Generell geht man davon aus, dass eine Muskelhypertrophie erst nach circa 12 Wochen Krafttraining eintritt (Jones, Rutherford & Parker, 1989). Deshalb dürften die Leistungsfortschritte der EG vor allem auf neuronale Effekte zurückzuführen sein (intra- und intermuskuläre Koordination). Jedoch sind auch geringfügige morphologische Anpassungen aufgrund des Trainings nicht auszuschließen.

Sprungdiagnostik

Die Studienlage zeigt, dass die Sprungkraft im mid-PHV Alter durch ein plyometrisches Training (Asadi et al., 2018; Chaouachi et al., 2014; Chtara et al., 2017; Meylan & Malatesta, 2009) oder einem Krafttraining (Christou et al., 2006; Keiner et al., 2013; Santos & Janeira, 2012) im hohem Maße trainierbar ist. Das Ziel dieser Studie war es herauszufinden, ob ein niedrig-dosiertes plyometrisches Trainingsprotokoll (ca. 40 Bodenkontakte pro Woche), in Verbindung mit einem niedrig-dosierten Krafttraining, die Sprungleistungen von Nachwuchsfußballern im mid-PHV Alter verbessert.

Im SJ und im CMJ lagen die durchschnittlichen Leistungssteigerungen in der EG bei 17,6 bzw. 7,7 % und damit über den natürlichen Entwicklungsraten der vertikalen Sprungfähigkeit in diesem Alter (vgl. 2.4). Die hochsignifikanten Leistungszugewinne ($p < 0,01$) innerhalb der EG deuten auf die Wirksamkeit des Trainings hin und sind vergleichbar mit den Ergebnissen aus anderen Studien zum Plyometrie- bzw. Krafttraining im mid-PHV Alter (vgl. 3.3 & 3.4). Allerdings konnte sich die KG im ähnlichen Ausmaß verbessern. Dies suggeriert, dass die Verbesserungen nicht auf Trainingsadaptionen zurückzuführen sind.

Dass ein niedrig-dosiertes plyometrisches Training für sich alleine, mit nur 40 Bodenkontakten pro Einheit, einen zu geringen Belastungsreiz darstellt, ist im Einklang mit den Ergebnissen von Moran et al. (2017). Es wurde jedoch vermutet, dass durch die Kombination aus Sprung- und Krafttraining, Verbesserungen in den Sprungtests erreicht werden. Ein Grund für die ausbleibenden Verbesserungen könnte sein, dass die Sprungtests zweibeinig ausgeführt wurden, die Probanden allerdings überwiegend unilaterales Krafttraining für die unteren Extremitäten absolvierten. Zudem wurden auch beim plyometrischen Training viele Sprünge einbeinig ausgeführt.

Beim DJ (LI) unterschieden sich die beiden Mannschaften in der Leistungsentwicklung signifikant voneinander. Die EG steigerte sich im Schnitt um 11,6 %, während sich die KG verschlechterte (-4,6 %). Bei Analyse der Leistungsentwicklungen innerhalb der EG, wurden allerdings für keine Variable (Sprunghöhe, BKZ, LI) eine signifikante Entwicklung zwischen Ein- und Ausgangstest festgestellt. Die Hypothese, dass sich die Leistungen im DJ durch das Athletiktrainingsprogramm positiv entwickeln, kann deshalb nur teilweise angenommen werden.

Die Ergebnisse des DJ in der KG sind konträr zur Studienlage. Basierend auf Querschnittuntersuchungen werden in der Phase der Pubertät natürliche Verbesserungen beim DJ (LI) von bis zu 10-16 % pro Jahr prognostiziert (Keiner, 2014; Richter, 2011). Die Entwicklungen werden vor allem durch Steigerungen der Sprunghöhe hervorgerufen, bei relativ konstant bleibenden BKZ. In der Literatur wird berichtet, dass im Zeitraum der Pubertät keine natürliche Entwicklung der BKZ beim DJ stattfindet (Richter, 2011). Auf Basis der Literaturangaben hätte in der KG nach 17 Wochen zumindest eine Tendenz für eine Leistungssteigerung im DJ erkennbar sein sollen. Da sich 6 von 8 Spieler im DJ (LI) verschlechterten, kann jedoch eher eine gegensätzliche Tendenz beobachtet werden ($p = 0,15$). Die Sprunghöhe hat sich im Schnitt nur gering erhöht (2,8 %, $p = 0,38$), während sich die BKZ im Schnitt sogar verlängerte (3,8 %, $p = 0,3$). Dies könnte auf einen zu ausdauerorientierten Trainingsansatz zurückzuführen sein, welcher bekanntlich die elementaren Schnelligkeitsfähigkeiten, zu der die Reaktivkraft gehört, negativ beeinflusst (Hohmann et al., 2014).

In der EG steigerten sich die DJ-Leistungen um durchschnittlich 11,6 %. Die Steigerungsraten des LI sind auf kürzere BKZ (-5,5 %), in Verbindung mit Steigerungen der Sprunghöhe (5,7 %) zurückzuführen. Abb. 48 zeigt eine Einzelwertanalyse der DJ-Variablen.

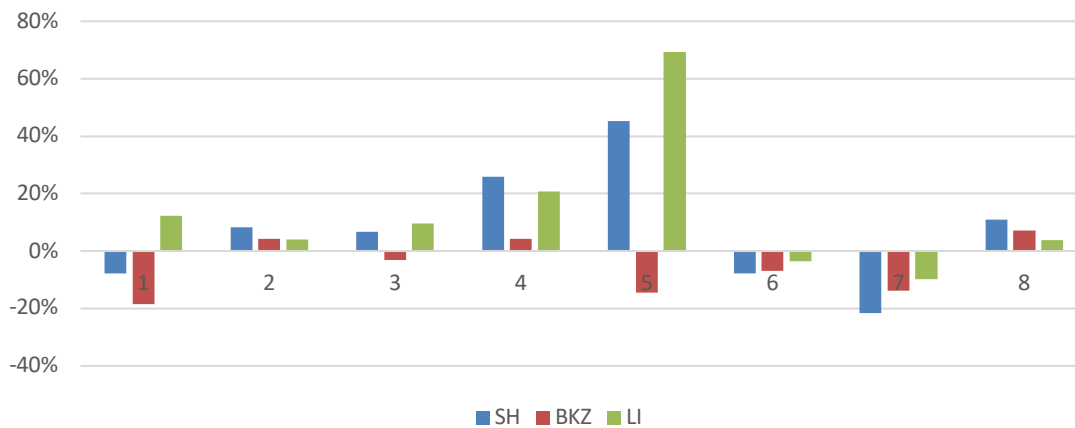


Abb. 48: Einzelanalyse der Entwicklung der SH, der BKZ und des LI in der EG

Insgesamt zeigt sich bei der EG eine leistungspositive Entwicklung der Reaktivkraft, allerdings ohne Erreichen eines statistisch signifikanten Niveaus ($p = 0,14$). Der signifikante Unterschied zur KG zeigt aber, dass ein Fußballtraining inklusive Athletiktraining, einem Fußballtraining ohne Athletiktraining überlegen ist. Welche Trainingsart die DJ-Entwicklung maßgeblich beeinflusst hat, kann nicht identifiziert werden, da die DJ-Leistung sowohl durch Krafttraining als auch durch plyometrische Übungen trainierbar ist (Keiner, 2014; Young et al., 1999). Durch ein Krafttraining wird primär die Sprunghöhe beim DJ gesteigert (Keiner, 2014). Bezüglich der BKZ konnte bei einer Studie mit erwachsenen Probanden gezeigt werden, dass nur ein Sprungtraining mit Fokus auf kurze BKZ auch zu einer Reduzierung der Kontaktzeiten führen. Dabei erhöht sich wiederum nicht die Sprunghöhe, was für eine hohe Spezifität der Trainingswirkung bei Reaktivkraftsprüngen spricht (Young et al., 1999). Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das Athletiktrainingsprogramm in dieser Studie einen guten Einstieg für das Training der Plyometrie bietet, um den Spielern die richtigen Sprung- und Landetechniken zu vermitteln sowie erste Leistungsfortschritte zu erzielen. Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass das Trainingsvolumen mit der Zeit gesteigert werden muss, um weitere Trainingseffekte zu erreichen.

Sprinttest

Die Korrelationsanalyse ergibt für beide Mannschaften und zu beiden Testzeitpunkten sehr hohe Zusammenhänge ($r > 0,9$) zwischen der 20 m Zeit und den beiden 10 m Teilzeiten (vgl. 5.6). In der weiteren Diskussion wird deshalb nur auf die 20 m Zeit Bezug genommen.

In der KG blieb die 20 m Zeit im Durchschnitt unverändert. Das ist konform mit den Ergebnissen von Christou et al. (2006), der bei mid-PHV Fußballern nach 16-Wochen „nur Fußball spielen“ auch keine Leistungsveränderungen feststellen konnte. Betrachtet man die einzelnen Spieler der KG, sieht man gewisse Leistungsschwankungen, die sich im Mittel aufheben (vgl. Abb. 49).

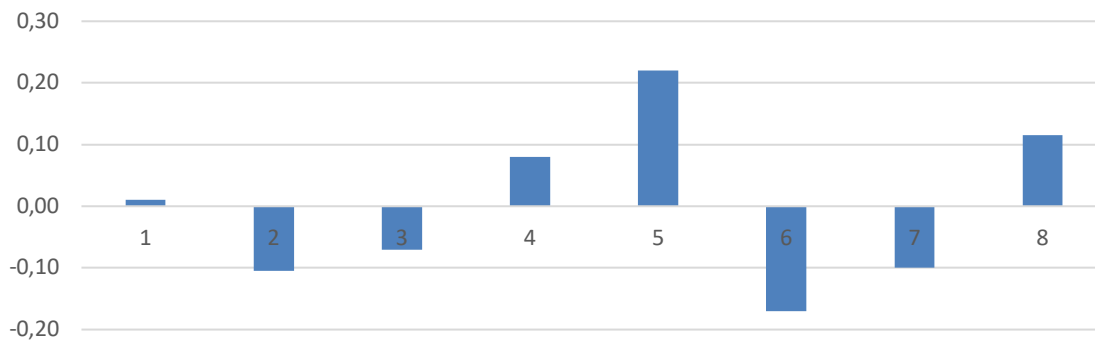


Abb. 49: Einzelanalyse der Entwicklung der 20 m Zeit (s) in der KG

Im Gegensatz dazu, erkennt man in Abb. 50, dass sich alle Spieler der EG verbesserten. Die durchschnittlichen Leistungssteigerungen der EG (4,2%) liegen über den in der Literatur berichteten, natürlichen Entwicklungsraten für Nachwuchsfußballer im 20 m Sprint. Bei einer Untersuchung von Sander (2015) konnten sich Fußballer eines Profi-NLZ innerhalb eines Jahres um durchschnittlich 2,4 % (U14) bzw. 1,2 % (U15) steigern. Eine Längsschnittstudie über die Entwicklung von DFB-Stützpunktspielern ($n = 1.134$) zeigt eine jährliche Leistungssteigerung der U14-Spieler von 3,1 % (Leyhr, Kelava, Raabe & Höner, 2018). Nach den Berechnungen von Williams et al. (2011) haben bereits Sprintverbesserungen von 1 % Einfluss auf die fußballerische Leistungsfähigkeit.

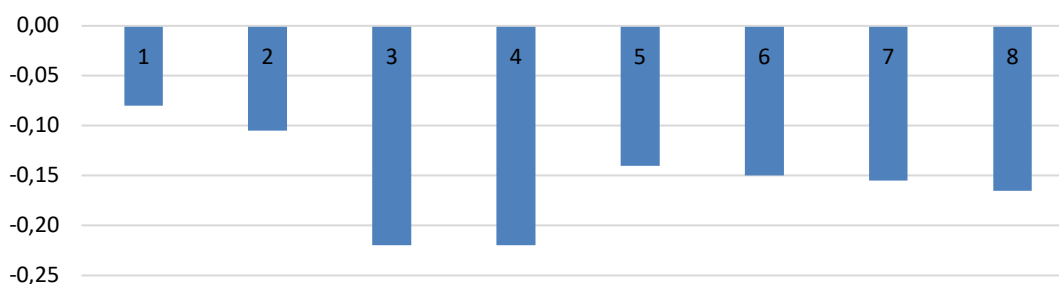


Abb. 50: Einzelanalyse der Entwicklung der 20 m Zeit (s) in der EG

Die Ergebnisse zeigen hochsignifikante Leistungssteigerungen der EG in allen Teilstrecken ($p < 0,01$) und auch signifikante Unterschiede gegenüber der KG. Die prozentualen Verbesserungen und die Effektstärken ($d = 3,62$ bzw. $\eta^2 = 0,4$) sind im Vergleich zum aktuellen Forschungsstand als sehr hoch zu bewerten (vgl. Kapitel 3). In Bezug die Sprintfähigkeit kann das Athletikprogramm als sehr effektiv bewertet werden.

Es ist von Interesse, welche Trainingsfaktoren die Schnelligkeitsentwicklung maßgeblich beeinflusst haben. Da es sich um ein kombiniertes Trainingsprogramm handelt, kann diese Frage nicht vollständig beantwortet werden. Vor dem Hintergrund, dass sich die EG in den Sprungtests (bis auf den DJ) und in der Maximalkrafttestung nicht statistisch-signifikant deutlicher entwickelt hat als die KG, kann vermutet werden, dass das Sprint- und Agility-Training die größten Schnelligkeitsanpassungen hervorgerufen hat. Auf Basis der Zusammenhänge (vgl. 5.6), wird jedoch vermutet,

dass das Training der Maximal- und Schnellkraft, die Sprintentwicklung ebenfalls positiv beeinflusst hat. Dies gilt auch deshalb, weil Sprinten eine einbeinige Bewegung ist und eine hohe Übertragbarkeit des unilateralen Sprung- und Krafttrainings vermutet wird (Boyle & Cosgrove, 2015).

Ein Sprinttraining verbesserte die Agility und vice versa. Beide Trainingsarten können zudem effektiv gemeinsam trainiert werden (vgl. auch 3.2). Dass eine wöchentliche Sprint- und Agility-Einheit im mid-PHV Alter ausreichend ist, um Leistungsentwicklungen zu erzielen, ist konform mit der aktuellen Studienlage (Buchheit et al., 2010; Chaouachi et al., 2014; Moran et al., 2018). Ebenfalls im Einklang mit der Literatur ist, dass fußballerische Elemente in das Sprint- und Agility-Training integriert werden können (Chaalali et al., 2016; Chaouachi et al., 2014). Eine verminderte Trainings-sensitivität für das Sprinttraining im mid-PHV Alter, wie von Moran et al. (2018) vermutet, kann nicht bestätigt werden. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass das Sprint- und Agility-Programm in dieser Arbeit sehr effektiv ist, um die Schnelligkeit im mid-PHV Alter zu entwickeln.

Zusammenhänge

Aufgrund der geringen Stichprobengröße ($n = 8$) ist die Aussagekraft der ermittelten Korrelationskoeffizienten eingeschränkt und die Ergebnisse sollten mit Vorsicht interpretiert werden.

Die Ergebnisse lassen vermuten, dass zwischen der Gleichgewichtsfähigkeit auf dem rechten und dem linken Bein ein moderater bis hoher Zusammenhang besteht ($r = 0,81$ bzw. $0,51$). Statistisch signifikant war die Korrelation jedoch nur bei der KG. Bei der EG liegen zwischen dem Balance- und dem Sprinttest zum Teil signifikante Korrelationen vor ($r = -0,54$ bis $-0,82$). Dies würde darauf hindeuten, dass zwischen der unilateralen Gleichgewichtsfähigkeit und der Sprintfähigkeit ein moderater bis hoher Zusammenhang besteht. Da bei der KG jedoch nur triviale bis schwache und zudem leistungsnegative Zusammenhänge ermittelt wurden ($r = 0,02$ bis $0,36$), kann diese Vermutung nicht bestätigt werden. Möglicherweise stellen die signifikanten Korrelationen in der EG einen alpha-Fehler dar.

Die Ergebnisse zeigen, dass zwischen dem SJ und dem CMJ ein hoher Zusammenhang gegeben ist ($r = 0,93$ bzw. $0,77$). Es scheint auch einen moderaten bis hohen Zusammenhang zwischen dem SJ bzw. CMJ und dem DJ zu geben, wenngleich nur bei der KG signifikante Korrelationen ermittelt wurden ($r = 0,54$ bis $0,85$).

In der Theorie wird davon ausgegangen, dass die Maximalkraft einen zentralen Einfluss auf die Sprungleistung hat (vgl. Kapitel 2). Es konnten jedoch keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den Sprüngen und der Maximalkraft nachgewiesen werden. Dies liegt vermutlich an der geringen Stichprobengröße. Denn die berechneten Korrelationskoeffizienten zwischen der Maximalkraft und dem SJ ($r = 0,39$ bzw. $0,48$) sind konform mit der Literatur (Keiner, 2014). Der Zusammenhang zwischen dem CMJ und der Maximalkraft war dagegen nur gering ($r = 0,16$ bzw. $0,25$). In der bisherigen Forschung werden zwischen der Maximalkraft und dem CMJ Korrelationen von ca. 0,4 berichtet (Keiner, 2014). Dass die Probanden im SJ im Schnitt höher

sprangen als im CMJ, deutet auf koordinative Schwierigkeiten der Probanden beim CMJ hin.

Die in der Literatur angegebenen Korrelationen zwischen der Maximalkraft und dem DJ sind konform mit den Werten in dieser Arbeit ($r = 0,39$ bzw. $0,34$). Aufgrund der niedrigeren Korrelationen im Vergleich zum SJ, ist die Reaktivkraft folglich weniger abhängig von der Maximalkraft als die Schnellkraft. Dies steht im Einklang mit dem theoretischen Verständnis der Kraftfähigkeiten (vgl. Kapitel 2). Umso länger die Zeit zur Kraftentwicklung, desto größer ist der Einfluss der Maximalkraft. Zum Teil signifikante Zusammenhänge konnten zwischen der Maximalkraft und der BKZ ermittelt werden ($r = 0,5$ bzw. $0,86$). Allgemein wird davon ausgegangen, dass die BKZ durch ein Krafttraining nicht beeinflusst wird und der Zusammenhang dieser beiden Variablen gering ist (Keiner, 2014). Aufgrund der geringen Stichprobengröße in dieser Studie, ist die Aussagekraft eingeschränkt. Für die Zukunft wäre es interessant, den Zusammenhang zwischen der Maximalkraft und der BKZ mit einer größeren Stichprobe zu untersuchen.

Die Korrelationsanalyse ergab zwischen der Maximalkraft und den Sprintzeiten keine signifikanten Zusammenhänge. Allerdings decken sich die Korrelationen ($r = -0,54$ bis $-0,64$) mit den Ergebnissen von Sander (2015), die mit einer größeren Stichprobe ermittelt wurden. Zwischen dem ersten und dem zweiten Streckenabschnitt (0-10 m bzw. 10-20 m) konnten keine Unterschiede festgestellt werden. Aus theoretischen Überlegungen müsste die Maximalkraft auf den ersten Metern den höchsten Einfluss haben. Diese Annahme kann in dieser Arbeit nicht bestätigt werden. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt auch Sander (2015).

Marques, Gil, Ramos, Costa, & Marinho (2011) stellten hohe Zusammenhänge ($r = -0,66$ bis $-0,8$) zwischen vertikalen Sprüngen und der 5 m Sprintzeit fest. Diese Werte sind vergleichbar mit den ermittelten Korrelationskoeffizienten in dieser Arbeit ($r = -0,42$ bis $-0,76$). Zwischen der Reaktivkraft (DJ LI) und den Sprintzeiten wurden ebenfalls moderate bis hohe Zusammenhänge berechnet ($r = -0,41$ bis $-0,73$).

7 Fazit und Ausblick

Die athletischen Fähigkeiten werden im Fußball durch das „normale Fußballtraining“ nicht ausreichend trainiert. Nachwuchsmannschaften aller Altersklassen sollten deshalb, zur Verletzungsprävention und zur Leistungsentwicklung, ein ergänzendes Athletiktraining absolvieren.

Die Daten der Untersuchung zeigen, dass sich die Schnellkeitsleistungen der EG deutlich besser entwickelt haben als in der KG. Dadurch hat die EG gegenüber der KG einen Leistungsvorteil, da sie ihre individuellen, physischen Leistungspotenziale besser ausschöpfen. Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Trainingsprogramm kann folglich als wirksam beurteilt werden, um die Leistungsfähigkeit von mid-PHV Nachwuchsfußballern zu verbessern. Die hohen Leistungssteigerungen der Sprintfähigkeit sind vermutlich auf eine kombinierte Wirkung der verschiedenen Trainingsarten (Plyometrie, Kraft, Sprint und Agilität) zurückzuführen. Aufgrund der einzelnen Testergebnisse liegt die Vermutung nahe, dass die größten Effekte durch das Sprint- und Agility-Training hervorgerufen wurden. Dieses wurde über 16 Wochen progressiv gesteigert, indem die Intensität und Komplexität der Übungen alle 4 Wochen erhöht wurde (lineare Sprints - Sprints mit Richtungswechsel - komplexe Agility-Läufe in Wettkampfform - Widerstandssprints).

Im Vergleich zu anderen Sportarten ist das Trainingsvolumen im (semi-)professionellen Nachwuchsfußball relativ gering. Natürlich stellt sich bei der Thematik Athletiktraining deshalb die Frage, ob die zusätzlich aufgebrachte Zeit in weiteren Fußballtrainingseinheiten besser investiert wäre. Aus eigener, langjähriger Erfahrung weiß ich, dass die meisten Fußballtrainer ihren Fokus primär auf technische und taktische Inhalte legen und das Athletiktraining oft vernachlässigt wird. Für die praktische Integration des Athletiktrainings ist es deshalb zielführend, fußballerische und athletische Trainingsinhalte zu verknüpfen. Im Rahmen dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass die Schnelligkeit und die Agilität durch ein Komplextraining sehr effektiv trainiert werden können. Dies gilt möglicherweise auch für die Gleichgewichtsfähigkeit und für die Plyometrie. Weitere Forschungsarbeit ist allerdings notwendig, um die Dosis-Wirkungs-Beziehungen der einzelnen Trainingsarten im Rahmen eines Komplextrainings besser beurteilen zu können.

Die Daten aus dieser Studie zeigen, dass das Trainingsvolumen beim Balance-Training, beim plyometrischen Training und beim Krafttraining zu gering war. Bei gegebenen Zeitressourcen für das Athletiktraining, empfiehlt sich deshalb eine Periodisierung mit abwechselnden Trainingsschwerpunkten (z.B. Phase Kraft, Phase Plyometrie, Phase Balance) und einem erhaltenden Training der anderen Fähigkeiten. Hierzu ist weitere Forschungsarbeit notwendig, um der Fußballpraxis wissenschaftlich evaluierte, holistische Athletiktrainingskonzepte zur Verfügung stellen zu können. Diese Arbeit liefert einen guten Ausgangspunkt für ein holistisches Athletiktrainingskonzept im mid-PHV Alter.

8 Literaturverzeichnis

- Asadi, A., Ramirez-Campillo, R., Arazi, H., & Sáez de Villarreal, E. (2018). The effects of maturation on jumping ability and sprint adaptations to plyometric training in youth soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 36(21), 2405–2411.
- Balyi, I., & Hamilton, A. (2004). *Long-Term Athlete Development: Trainability in Childhood and Adolescence—Windows of Opportunity—Optimal Trainability*. Victoria, Canada: National Coaching Institute British Columbia & Advanced Training and Performance Ltd.
- Behringer, M., Vom Heede, A., Yue, Z., & Mester, J. (2010). Effects of resistance training in children and adolescents: A meta-analysis. *Pediatrics*, 126(5).
- Beunen, G., Ostyn, M., Simons, J., Renson, R., Claessens, A. L., Vanden Eynde, B. (1997). Development and tracking in fitness components: Leuven longitudinal study on lifestyle, fitness and health. *International Journal of Sports Medicine*, 18 Suppl 3, S171-178.
- BFV. (2015, November 27). Die Talentförderung des BFV. Abgerufen 2. März 2019, von https://www.bfv.de/cms/docs/BFV_NLZ_2015_Druck.pdf
- Boeer, J., Mueller, O., Krauss, I., Haupt, G., & Horstmann, T. (2010). Zuverlässigkeitsprüfung eines Messverfahrens zur Charakterisierung des Standverhaltens und Quantifizierung des Balancevermögens auf einer instabilen Plattform (Posturomed). *Sportverletzung · Sportschaden*, 24(01), 40–45.
- Bortz, J., & Döring, N. (2015). *Forschungsmethoden und Evaluation: Für Human- und Sozialwissenschaftler* (5. Aufl). Berlin: Springer.
- Bös, K., Hänsel, F., & Schott, N. (2004). *Empirische Untersuchungen in der Sportwissenschaft: Planung - Auswertung - Statistik* (2., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl). Hamburg: Czwalina.
- Box, G., & Cox, D. (1964). An Analysis of Transformations. *Journal of the Royal Statistical Society*, 6(4), 211–252.
- Boyle, M., & Cosgrove, A. (2015). *Fortschritte im Functional Training: Neue Trainingstechniken für Trainer und Athleten* (3. Auflage; M. Pyrlik, Übers.). München: Riva.
- Bradley, P. S., Di Mascio, M., Peart, D., Olsen, P., & Sheldon, B. (2010). High-Intensity Activity Profiles of Elite Soccer Players at Different Performance Levels: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(9), 2343–2351.
- Buchheit, M., Mendez-Villanueva, A., Delhomel, G., Brughelli, M., & Ahmaidi, S. (2010). Improving Repeated Sprint Ability in Young Elite Soccer Players: Repeated Shuttle Sprints Vs. Explosive Strength Training: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(10), 2715–2722.
- Cavaco, B., Sousa, N., Dos Reis, V. M., Garrido, N., Saavedra, F., Mendes, R., & Vilaça-Alves, J. (2014). Short-term effects of complex training on agility with the ball, speed, efficiency of crossing and shooting in youth soccer players. *Journal of Human Kinetics*, 43, 105–112.
- Chaalali, A., Rouissi, M., Chtara, M., Owen, A., Bragazzi, N. L., Moalla, W., ... Chamari, K. (2016). Agility training in young elite soccer players: Promising results compared to change of direction drills. *Biology of Sport*, 33(4), 345–351.
- Chaouachi, A., Chtara, M., Hammami, R., Chtara, H., Turki, O., & Castagna, C. (2014a). Multidirectional Sprints and Small-Sided Games Training Effect on Agility and Change of Direction Abilities in Youth Soccer: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(11), 3121–3127.
- Chaouachi, A., Othman, A. B., Hammami, R., Drinkwater, E. J., & Behm, D. G. (2014b). The Combination of Plyometric and Balance Training Improves Sprint and Shuttle Run Performances More Often Than Plyometric-Only Training With Children: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(2), 401–412.
- Christou, M., Smilios, I., Sotiropoulos, K., Volaklis, K., Pilianidis, T., & Tokmakidis, S. P. (2006). Effects of Resistance Training on the Physical Capacities of Adolescent Soccer Players. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), 783.
- Chtara, M., Rouissi, M., Haddad, M., Chtara, H., Chaalali, A., Owen, A., & Chamari, K. (2017). Specific physical trainability in elite young soccer players: Efficiency over 6 weeks' in-season training. *Biology of Sport*, 34(2), 137–148.
- Chu, D. A., & Myer, G. D. (2013). *Plyometrics. Dynamic Strength and Explosive Power*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed). Hillsdale, N.J: L. Erlbaum Associates.
- DFB. (o. J.-a). *Der weite Weg zum Erfolg. Ausbildungskonzeption des DFB*. Abgerufen von

<https://www.dfb.de/trainer/bambini/artikel/online-blaetterfunktion-dfb-ausbildungskonzeption-651/>

- DFB. (o. J.-b). *Testmanual für die technomotorische Leistungsdiagnostik*. Philippka-Sportverlag.
- Di Salvo, V., Baron, R., Tschann, H., Calderon Montero, F., Bachl, N., & Pigozzi, F. (2007). Performance Characteristics According to Playing Position in Elite Soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 28(3), 222–227.
- Dickhuth, H. H., Simon, G., Bachl, N., Lehmann, M., & Keul, J. (1981). Zur Höchst- und Dauerleistungsfähigkeit von Bundesligafußballspielern*. *Leistungssport*, (2), 148–152.
- Drabik, J. (1996). *Children and sports training: How your future champions should exercise to be healthy, fit, and happy*. Island Pond, Vt: Stadion Pub. Co.
- Drinkwater, E. J., Hopkins, W. G., McKenna, M. J., Hunt, P. H., & Pyne, D. B. (2007). Modelling age and secular differences in fitness between basketball players. *Journal of Sports Sciences*, 25(8), 869–878.
- Ehlenz, H., Grosser, M., & Zimmermann, E. (2003). *Krafttraining: Grundlagen, Methoden, Übungen, Leistungssteuerung, Trainingsprogramme* (7., überarb. Aufl. (Neuausg.)). München: BLV-Verl.- Ges.
- Emery, C. A., Cassidy, J. D., Klassen, T. P., Rosychuk, R. J., & Rowe, B. H. (2005). Effectiveness of a home-based balance-training program in reducing sports-related injuries among healthy adolescents: A cluster randomized controlled trial. *CMAJ: Canadian Medical Association Journal = Journal de l'Association Médicale Canadienne*, 172(6), 749–754.
- Faigenbaum, A. D., Kraemer, W. J., Blimkie, C. J. R., Jeffreys, I., Micheli, L. J., Nitka, M., & Rowland, T. W. (2009). Youth resistance training: Updated position statement paper from the national strength and conditioning association. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(5 Suppl), S60-79.
- Faigenbaum, A. D., Kraemer, W. J., Cahill, B., Chandler, J., Dziados, J., Elfrink, L. D., ... Roberts, S. (1996). Youth Resistance Training: Position Statement Paper and Literature Review: Position Statement. *Strength and Conditioning Journal*, 18(6), 62.
- Faigenbaum, A. D., Lloyd, R. S., MacDonald, J., & Myer, G. D. (2016). Citius, Altius, Fortius: Beneficial effects of resistance training for young athletes: Narrative review. *British Journal of Sports Medicine*, 50(1), 3–7.
- Faigenbaum, A. D., McFarland, J. E., Keiper, F. B., Tevlin, W., Ratamess, N. A., Kang, J., & Hoffman, J. R. (2007). Effects of a short-term plyometric and resistance training program on fitness performance in boys age 12 to 15 years. *Journal of Sports Science & Medicine*, 6(4), 519–525.
- Faigenbaum, A. D., Milliken, L. A., Loud, R. L., Burak, B. T., Doherty, C. L., & Westcott, W. L. (2002). Comparison of 1 day and 2 days per week of Strength Training in Children: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(5), S142.
- Faigenbaum, A. D., & Myer, G. D. (2010). Resistance training among young athletes: Safety, efficacy and injury prevention effects. *British Journal of Sports Medicine*, 44(1), 56–63.
- Fehr, U., Frank, A., & Rist, P. (2010). *Einfluss von Slacklining auf die Gleichgewichtsfähigkeit*. Gehalten auf der Gemeinsames dvs-Symposium der Sektionen Biomechanik, Sportmotorik und Trainingswissenschaft., Hamburg. Abgerufen von https://www.spowi1.uni-bayreuth.de/pool/dokumente/Slackline_Poster.pdf
- Fleck, S. J., & Kraemer, W. J. (2004). *Designing resistance training programs* (3rd ed). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Ford, P., De Ste Croix, M., Lloyd, R., Meyers, R., Moosavi, M., Oliver, J., ... Williams, C. (2011). The long-term athlete development model: Physiological evidence and application. *Journal of Sports Sciences*, 29(4), 389–402.
- Frick, U. (1993). *Kraftausdauerverhalten im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus* (1. Aufl). Köln: Sport und Buch Strauss, Edition Sport.
- Gamble, P. (2014). Metabolic Conditioning Development in Youth. In Rhodri S. Lloyd & J. L. Oliver (Hrsg.), *Strength and conditioning for young athletes: Science and application*. London; New York: Routledge; Taylor & Francis Group.
- Geese, R., & Hillebrecht, M. (2006). *Schnelligkeitstraining* (2. Aufl). Aachen: Meyer & Meyer.
- Granacher, U. (2018, Juni). *Krafttraining im Nachwuchsleistungssport: Erkenntnisse aus der KINGS-Studie*. Gehalten auf der BISP Symposium, Berlin. Abgerufen von <https://www.youtube.com/watch?v=kdd6aEWd7W4&t=1084s>
- Granacher, U, Lesinski, M., Büsch, D., Muehlbauer, T., Prieske, O., Puta, C., ... Behm, D. G. (2016).

- Effects of Resistance Training in Youth Athletes on Muscular Fitness and Athletic Performance: A Conceptual Model for Long-Term Athlete Development. *Frontiers in Physiology*, 7.
- Granacher, U., Gollhofer, A., & Kriemler, S. (2010). Effects of balance training on postural sway, leg extensor strength, and jumping height in adolescents. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 81(3), 245–251.
- Granacher, U., Muehlbauer, T., Maestrini, L., Zahner, L., & Gollhofer, A. (2011). Can balance training promote balance and strength in prepubertal children? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(6), 1759–1766.
- Grosser, M., & Renner, T. (2007). *Schnelligkeitstraining: Grundlagen, Methoden, Leistungssteuerung, Programme für alle Sportarten* (2., neu bearb. Aufl., Neuausg.). München: BLV-Buchverl.
- Gruber, M., Gruber, S. B. H., Taube, W., Schubert, M., Beck, S. C., & Gollhofer, A. (2007). Differential effects of ballistic versus sensorimotor training on rate of force development and neural activation in humans. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(1), 274–282.
- Guardiola, P. (2019, Januar 5). *Pressekonferenz Pep Guardiola*. Abgerufen von <http://www.spox.com/de/sport/fussball/international/england/1901/News/manchester-city-wie-pep-guardiola-dem-fc-bayern-wohl-leroy-sane-wegschnappte.html>
- Güllich, A., & Schmidtbleicher, A. (1999). Struktur der Kraftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, (50), 223–234.
- Hemmerich, W. (2019). *Box-Cox Powertransformation berechnen: StatistikGuru*. Abgerufen von <https://statistikguru.de/rechner/box-cox.html>
- Hemmerich, W. (o. J.). *Auf Aufreißer prüfen: StatistikGuru.de*. Abgerufen von <https://statistikguru.de/spss/ungepaarter-t-test/ausreisser-finden-2.html> (12.09.2019)
- Hetzler, R. K., DeRenne, C., Buxton, B. P., Ho, K. W., Chai, D. X., & Seichi, G. (1997). Effects of 12 Weeks of Strength Training on Anaerobic Power in Prepubescent Male Athletes. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 11(3), 174.
- Hoff, J., & Helgerud, J. (2004). Endurance and strength training for soccer players: Physiological considerations. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 34(3), 165–180.
- Hoff, J., Wisløff, U., Engen, L. C., Kemi, O. J., & Helgerud, J. (2002). Soccer specific aerobic endurance training. *British Journal of Sports Medicine*, 36(3), 218–221.
- Hohmann, A., Lames, M., & Letzelter, M. (2014a). *Einführung in die Trainingswissenschaft* (6., unveränderte Auflage). Wiebelsheim: Limpert Verlag.
- Hollmann, W., Liesen, A., Mader, A., Heck, H., Rost, R., Dufaux, B., ... Föhrenbach, R. (1982). Zur Höchst- und Dauerleistungsfähigkeit der deutschen Fussball-Spitzenspieler. *Leistungssport*, 12(3), 216–222.
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 3–13.
- Horn, A. (2010). *Positionspapier zum Krafttraining im Nachwuchssport* (Bundesinstituts für Sportwissenschaft (BISp), Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft (dvs), Deutschen Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention (DGSP), Gesellschaft für orthopädisch-traumatologische Sportmedizin (GOTS), & Gesellschaft für pädiatrische Sportmedizin (GPS), Hrsg.). Abgerufen von https://www.sportwissenschaft.de/fileadmin/pdf/download/Positionspapier_Krafttraining_02-09-2010.pdf
- IAT (Hrsg.). (o. J.). *Manual-Wachstumsprognose*. Abgerufen von <http://www.iat.uni-leipzig.de/service/downloads/fachbereiche/technik-taktik/biofinal/view>
- Jeffreys, I. (2014). Agility development in youths. In Rhodri S. Lloyd & J. L. Oliver (Hrsg.), *Strength and conditioning for young athletes: Science and application*. London ; New York: Routledge; Taylor & Francis Group.
- Johnson, B. A., Salzberg, C. L., & Stevenson, D. A. (2011). A Systematic Review: Plyometric Training Programs for Young Children: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(9), 2623–2633.
- Jones, D. A., Rutherford, O. M., & Parker, D. F. (1989). Physiological changes in skeletal muscle as a result of strength training. *Quarterly Journal of Experimental Physiology (Cambridge, England)*, 74(3), 233–256.
- Kanehisa, H., Funato, K., Kuno, S., Fukunaga, T., & Katsuta, S. (2003). Growth trend of the quadriceps femoris muscle in junior Olympic weight lifters: An 18-month follow-up survey. *European Journal of Applied Physiology*, 89(3–4), 238–242.

- Kean, C. O., Behm, D. G., & Young, W. B. (2006). Fixed foot balance training increases rectus femoris activation during landing and jump height in recreationally active women. *Journal of Sports Science & Medicine*, 5(1), 138–148.
- Keiner, M. (2014). *Krafttraining im Nachwuchsleistungssport. Effekte eines ergänzenden Krafttrainings auf Maximalkraft- und Sprungleistungen im langsamen und schnellen Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus bei Nachwuchs-fußballern*. Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main.
- Keiner, Michael, Sander, A., Wirth, K., & Schmidtbleicher, D. (2013). Einfluss eines zweijährigen Krafttrainings auf schnellkräftige Leistungen im Nachwuchsleistungssport Fußball. *Leistungssport*, (5), 23–28.
- Lesinski, M., Muehlbauer, T., Büsch, D., & Granacher, U. (2014). Effekte von Komplextraining auf Kraft- und Schnelligkeitsleistungen bei Sportlern: Ein systematischer Überblick. *Sportverletzung · Sportschaden*, 28(02), 85–107.
- Lesinski, Melanie, Prieske, O., & Granacher, U. (2016). Effects and dose–response relationships of resistance training on physical performance in youth athletes: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 50(13), 781–795.
- Leyhr, D., Kelava, A., Raabe, J., & Höner, O. (2018). Longitudinal motor performance development in early adolescence and its relationship to adult success: An 8-year prospective study of highly talented soccer players. *PLOS ONE*, 13(5), e0196324.
- Lloyd, R. S., & Oliver, J. L. (2016). Die Entwicklung junger Athleten. In D. Joyce & D. Lewindon (Hrsg.), *Athletiktraining für sportliche Höchstleistung* (1. Auflage, S. 17–32). München: riva.
- Lloyd, R. S., & Oliver, J. L. (2012). The Youth Physical Development Model: A New Approach to Long-Term Athletic Development. *Strength and Conditioning Journal*, 34(3), 61–72.
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Hughes, M. G., & Williams, C. A. (2011). The influence of chronological age on periods of accelerated adaptation of stretch-shortening cycle performance in pre and postpubescent boys. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(7), 1889–1897.
- Malina, R. M., Bouchard, C., & Bar-Or, O. (2004). *Growth, maturation, and physical activity* (2nd ed). Champaign, Ill: Human Kinetics.
- Markovic, G., Jukic, I., Milanovic, D., & Metikos, D. (2007). Effects of Sprint and Plyometric Training on Muscle Function and Athletic Performance. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 543.
- Marques, M. C., Pereira, A., Reis, I. G., & van den Tillaar, R. (2013). Does an in-Season 6-Week Combined Sprint and Jump Training Program Improve Strength-Speed Abilities and Kicking Performance in Young Soccer Players? *Journal of Human Kinetics*, 39, 157–166.
- Marques, M., Gil, H., Ramos, R., Costa, A., & Marinho, D. (2011). Relationships Between Vertical Jump Strength Metrics and 5 Meters Sprint Time. *Journal of Human Kinetics*, 29(1), 115–122.
- Mathisen, G. E. (2014). Effect of High-Speed and Plyometric Training for 13-Year-Old Male Soccer Players on Acceleration and Agility Performance. *LASE Journal of Sport Science*, 5(2), 1–12.
- Meckel, Y., Gefen, Y., Nemet, D., & Eliakim, A. (2012). Influence of short vs. Long repetition sprint training on selected fitness components in young soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(7), 1845–1851. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318236d0f0>
- Meylan, C. M. P., Cronin, J. B., Oliver, J. L., Hughes, M. G., & Manson, S. (2014). An Evidence-Based Model of Power Development in Youth Soccer. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 9(5), 1241–1264.
- Meylan, C., & Malatesta, D. (2009). Effects of in-season plyometric training within soccer practice on explosive actions of young players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(9), 2605–2613.
- Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D. G., Bailey, D. A., & Beunen, G. P. (2002). An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(4), 689–694.
- Moran, J. (2017). *The effectiveness of resistance, plyometric and sprint training at different stages of maturation in male youth athletes*. School of Biological Sciences, University of Essex, Essex.
- Moran, J., Parry, D. A., Lewis, I., Collison, J., Rumpf, M. C., & Sandercock, G. R. H. (2018). Maturation-related adaptations in running speed in response to sprint training in youth soccer players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(5), 538–542.

- Moran, J., Sandercock, G. R. H., Ramírez-Campillo, R., Todd, O., Collison, J., & Parry, D. A. (2017). Maturation-Related Effect of Low-Dose Plyometric Training on Performance in Youth Hockey Players. *Pediatric Exercise Science*, 29(2), 194–202.
- Osgnach, C., Poser, S., Bernardini, R., Rinaldo, R., & Di Prampero, P. E. (2010). Energy Cost and Metabolic Power in Elite Soccer: A New Match Analysis Approach. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(1), 170–178.
- Otte, C. (2014). *Bioswing Posturomed. Das sensomotorische Präventions- und Therapiesystem* (Haider Bioswing GmbH, Hrsg.). Abgerufen von http://www.bioswing.de/sites/bioswing.de/files/categorized-downloads/files/posturomed_12.pdf
- Otte, C. (o. J.). *Anleitung zum Haider Bioswing Posturokybernetiktest* (Haider Bioswing, Hrsg.). Abgerufen von http://www.bioswing.de/sites/bioswing.de/files/categorized-downloads/files/anleitung_bioswing-pkt.pdf
- Oude Nijhuis, L. B., Allum, J. H. J., Borm, G. F., Honegger, F., Overeem, S., & Bloem, B. R. (2009). Directional sensitivity of „first trial“ reactions in human balance control. *Journal of Neurophysiology*, 101(6), 2802–2814.
- Payne, V. G., & Isaacs, L. D. (2012). *Human motor development: A lifespan approach* (8th ed). New York: McGraw-Hill.
- Pedley, J. S., Lloyd, R. S., Read, P., Moore, I. S., & Oliver, J. L. (2017). Drop Jump: A Technical Model for Scientific Application. *Strength and Conditioning Journal*, 39(5), 36–44.
- Peitz, M., Behringer, M., & Granacher, U. (2018). A systematic review on the effects of resistance and plyometric training on physical fitness in youth- What do comparative studies tell us? *PloS One*, 13(10), e0205525.
- Philippaerts, R. M., Vaeyens, R., Janssens, M., Van Renterghem, B., Matthys, D., Craen, R., ... Malina, R. M. (2006). The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 24(3), 221–230.
- Phys. Sportsmed. (1983). Weight Training and Weight Lifting: Information for the Pediatrician. *The Physician and Sportsmedicine*, 11(3), 157–161.
- Projektziele KINGS-Studie. (2014). Abgerufen 8. Januar 2019, von <https://www.uni-potsdam.de/kraftprojekt/projektziele.php>
- Ramírez-Campillo, R., Andrade, D. C., Alvarez, C., Henríquez-Olguín, C., Martínez, C., Báez-Sanmartín, E., Izquierdo, M. (2014). The effects of intersit rest on adaptation to 7 weeks of explosive training in young soccer players. *Journal of Sports Science & Medicine*, 13(2), 287–296.
- Ramírez-Campillo, R., Henríquez-Olguín, C., Burgos, C., Andrade, D. C., Zapata, D., Martínez, C., Izquierdo, M. (2015b). Effect of Progressive Volume-Based Overload During Plyometric Training on Explosive and Endurance Performance in Young Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(7), 1884–1893.
- Ramírez-Campillo, R., Meylan, C. M. P., Álvarez-Lepín, C., Henriquez-Olguín, C., Martinez, C., Andrade, D. C., Izquierdo, M. (2015a). The effects of interday rest on adaptation to 6 weeks of plyometric training in young soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(4), 972–979.
- Raschka, C. (2006). *Sportanthropologie: Leitfaden der modernen, vergleichenden Sportanthropologie, Sportanthropometrie und trainingsrelevanten Konstitutionsbiologie* (1. Auflage). Köln: Sportverlag Strauß.
- Ratel, S., Williams, C. A., Oliver, J., & Armstrong, N. (2004). Effects of age and mode of exercise on power output profiles during repeated sprints. *European Journal of Applied Physiology*, 92(1–2), 204–210.
- Rehhagel, J. (2011). *Entwicklung einer Testbatterie zur Diagnostik und Steuerung der Schnelligkeit im Sportspiel Fußball*. Deutsche Sporthochschule Köln, Köln.
- Richter, A. (2011). *Aspekte der Sprungkraft und Sprungkraftdiagnostik unter besonderer Berücksichtigung der Entwicklung im Kindes- und Jugendalter*. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.
- Rumpf, M. C., Cronin, J. B., Mohamad, I. N., Mohamad, S., Oliver, J. L., & Hughes, M. G. (2015). The effect of resisted sprint training on maximum sprint kinetics and kinematics in youth. *European Journal of Sport Science*, 15(5), 374–381.
- Rumpf, M. C., Cronin, J. B., Pinder, S. D., Oliver, J., & Hughes, M. (2012). Effect of different training methods on running sprint times in male youth. *Pediatric Exercise Science*, 24(2), 170–186.
- Rumpf, M. C., Lockie, R. G., Cronin, J. B., & Jalilvand, F. (2016). Effect of Different Sprint Training

- Methods on Sprint Performance Over Various Distances: A Brief Review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(6), 1767–1785.
- Ryan, J. R., & Saliccioli, G. G. (1976). Fractures of the distal radial epiphysis in adolescent weight lifters. *The American Journal of Sports Medicine*, 4(1), 26–27.
- Sale, D. G. (2002). Postactivation potentiation: Role in human performance. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 30(3), 138–143.
- Sander, A. (2015). *Effekte eines zweijährigen Krafttrainings auf die Sprintleistung im Nachwuchssport Fußball*. Johann Wolfgang-Goethe-Universität, Frankfurt am Main.
- Sands, W. A. (2002). Physiology. In *Medicine and Sport Science* (Bd. 45, S. 128–161). <https://doi.org/10.1159/000067490>
- Santos, E. J. A. M., & Janeira, M. A. A. S. (2012). The effects of resistance training on explosive strength indicators in adolescent basketball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(10), 2641–2647. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31823f8dd4>
- Schmidtbleicher, D. (1980). *Maximalkraft und Bewegungsschnelligkeit*. Bad Homburg: Limpert Verlag.
- Slawinski, J., Bonnefoy, A., Levêque, J.-M., Ontanon, G., Riquet, A., Dumas, R., & Chèze, L. (2010). Kinematic and Kinetic Comparisons of Elite and Well-Trained Sprinters During Sprint Start: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(4), 896–905.
- Statton, G., & Oliver, J. L. (2014). The impact of growth and maturation on physical performance. In Rhodri S. Lloyd & J. L. Oliver (Hrsg.), *Strength and conditioning for young athletes: Science and application* (S. 3–18). London; New York: Routledge; Taylor & Francis Group.
- Steinhöfer, D. (2015). *Athletiktraining im Sportspiel: Theorie und Praxis zu Kondition, Koordination und Trainingssteuerung* (3., durchges. Aufl.). Münster: Philippka-Sportverl.
- Tan, B. (1999). Manipulating Resistance Training Program Variables to Optimize Maximum Strength in Men: A Review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 13(3), 289–304.
- Tidow, G., & Wiemann, K. (1993). Zur Interpretation und Veränderbarkeit von Kraft-Zeit-Kurven bei explosiven ballistischen Krafteinsätzen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, (44), 136–150.
- Universität Potsdam (Hrsg.). (o. J.). *KINGS-Studie Testbatterie*. Abgerufen von <https://www.uni-potsdam.de/kraftprojekt/testbatterie.php>
- Valovich McLeod, T. C., Decoster, L. C., Loud, K. J., Micheli, L. J., Parker, J. T., Sandrey, M. A., & White, C. (2011). National Athletic Trainers' Association Position Statement: Prevention of Pediatric Overuse Injuries. *Journal of Athletic Training*, 46(2), 206–220.
- Vänttinen, T., Blomqvist, M., Nyman, K., & Häkkinen, K. (2011). Changes in body composition, hormonal status, and physical fitness in 11-, 13-, and 15-year-old Finnish regional youth soccer players during a two-year follow-up. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(12), 3342–3351.
- Verstegen, M., & Williams, P. (2014). *Jeder Tag zählt: Einstellung, Ernährung, Bewegung, Erholung* (1. Aufl.). München: riva.
- Vigne, G., Gaudino, C., Rogowski, I., Alloatti, G., & Hautier, C. (2010). Activity Profile in Elite Italian Soccer Team. *International Journal of Sports Medicine*, 31(05), 304–310.
- Viru, A., Loko, J., Harro, M., Volver, A., Laaneots, L., & Viru, M. (1999). Critical Periods in the Development of Performance Capacity During Childhood and Adolescence. *European Journal of Physical Education*, 4(1), 75–119.
- Vrijens, J. (1978). Muscle Strength Development in the Pre- and Post-Pubescent Age. In A. S. Karger (Hrsg.), *Muscle Strength Development in the Pre- and Post-Pubescent Age*. (S. 152–158).
- Wank, V., & Coenning, C. (2018). Einfluss der Messverfahren zur Bestimmung der maximalen Sprunghöhe bei Vertikalsprüngen. In I. Fichtner (Hrsg.), *Technologien im Leistungssport: Tagungsband zur 19. Frühjahrsschule am 14./15. Mai 2018 in Leipzig (Schriftenreihe für Angewandte Trainingswissenschaft* (S. 91–93).
- Wenzel, U. (2017, Mai 5). Plyometrie im Nachwuchstraining? Schneller werden durch reaktive Sprünge! Abgerufen 23. Juli 2019, von http://nwls.sport-iat.de/wp-content/uploads/2017/05/05_Kondition_3.pdf
- Williams, C. A., Oliver, J. L., & Faulkner, J. (2011a). Seasonal Monitoring of Sprint and Jump Performance in a Soccer Youth Academy. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(2), 264–275.
- Wong, P., Chamari, K., & Wisløff, U. (2010). Effects of 12-week on-field combined strength and

- power training on physical performance among U-14 young soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(3), 644–652.
- Yaggie, J. A., & Campbell, B. M. (2006). Effects of balance training on selected skills. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(2), 422–428. <https://doi.org/10.1519/R-17294.1>
- Yagüe, P. H., & De La Fuente, J. M. (1998). Changes in height and motor performance relative to peak height velocity: A mixed-longitudinal study of Spanish boys and girls. *American Journal of Human Biology*, 10(5), 647–660.
- Young, W. B., McDowell, M. H., & Scarlett, B. J. (2001). Specificity of sprint and agility training methods. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(3), 315–319.
- Young, W., Wilson, C., & Byrne, C. (1999). A Comparison of Drop Jump Training Methods: Effects on Leg Extensor Strength Qualities and Jumping Performance. *International Journal of Sports Medicine*, 20(05), 295–303.

Ehrenwörtliche Versicherung

Ich versichere hiermit, dass ich die berufsethischen Grundsätze für Sportwissenschaftler/-innen der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft bei der Erstellung der vorliegenden Arbeit befolgt haben.

Insbesondere versichere Ich hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Benutzung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe. Wörtlich übernommene Sätze oder Satzteile sind in Anführungszeichen gesetzt bzw. mit Formatierung Blockzitat gekennzeichnet und als Zitat belegt. Auch bei nicht wörtlicher Übernahme von Daten/Aussagen ist die Quelle angegeben. Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen und ist nicht veröffentlicht.

Bei Zuwiderhandlungen wird die Arbeit als ungenügend bewertet und die mit ihr verbundene Prüfungsleistung gilt als nicht bestanden.

Bayreuth, 19.09.2019

Simon Schmoll